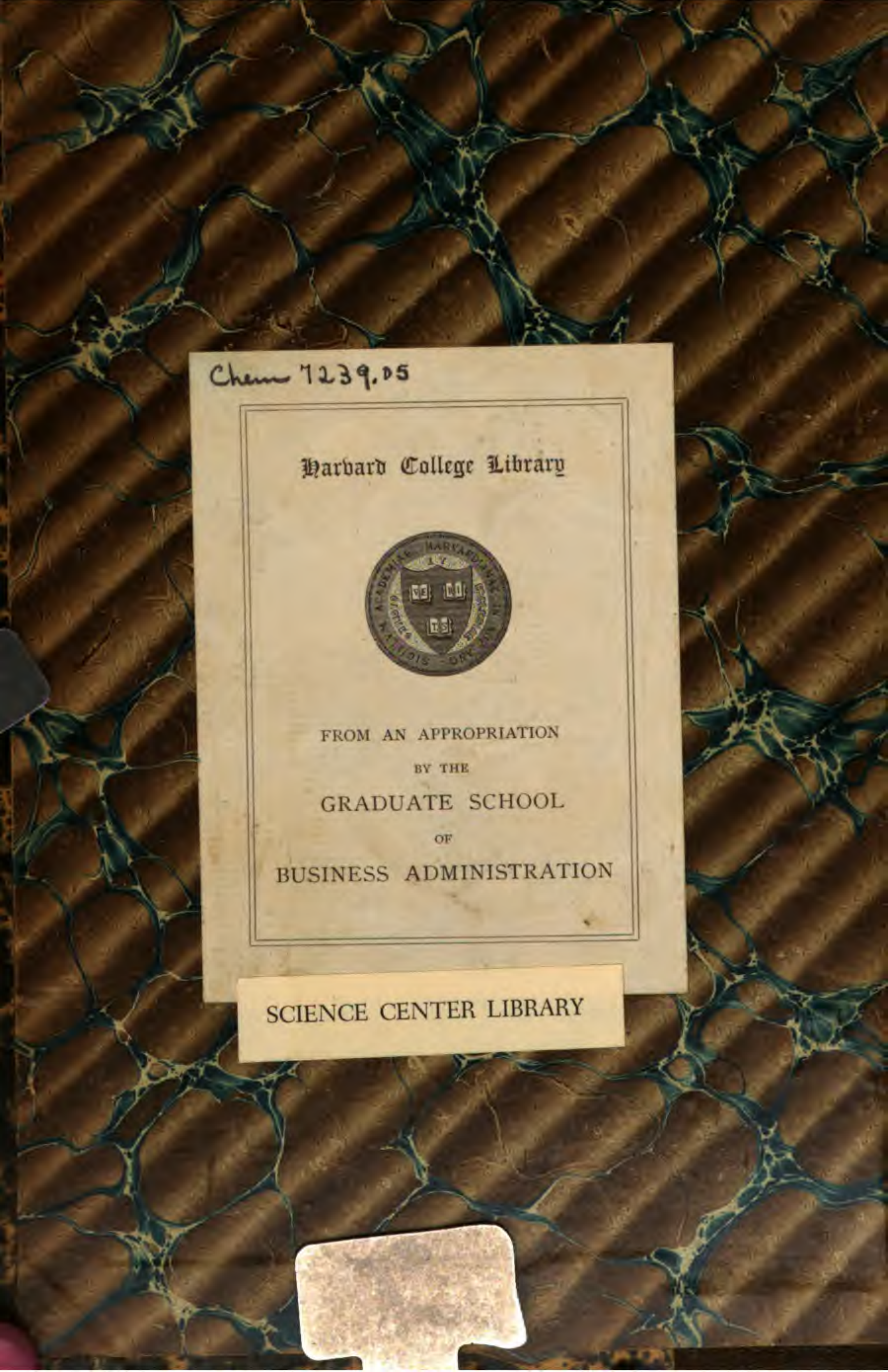




Chem 7239.05
Harvard College Library
FROM AN APPROPRIATION
BY THE
GRADUATE SCHOOL
OF
BUSINESS ADMINISTRATION
SCIENCE CENTER LIBRARY


ALPHONSE
PICARD & FILS
EDITEURS
RUE BONAPARTE
-82-
PARIS VI^E ARROND^T
LIBRAIRIE
ANCIENNE
D'OCCASION
COMMISSION
LIVRES NEUFS
FRANÇAIS
&
ETRANGERS

FABRICATION
DE L'ACIER

PAR

H. NOBLE

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

ANCIEN CHEF DE SERVICE D'ACIÉRIES

PARIS (VIe)

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1905

FABRICATION

DE L'ACIER

FABRICATION

DE L'ACIER

PAR

H. NOBLE

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

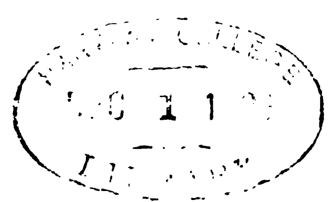
ANCIEN CHEF DE SERVICE D'ACIÉRIES

PARIS (VIe)

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1905



PRÉFACE

La fabrication des aciers fondus destinés au laminage est entrée depuis quelques années dans une période de progrès qui semble devoir rester à peu près stationnaire tant que les gisements miniers ne seront pas épuisés. Les procédés basiques permettent l'affinage des fontes extraites de tous les minerais du sous-sol européen qui sont assez riches pour justifier d'un traitement au haut-fourneau ; aussi les méthodes générales subsisteront-elles : l'électrosidérurgie ne sera jamais pour elles une rivale sérieuse, car sa production limitée et les frais qu'elle occasionne ne lui permettent pas de s'étendre au delà des aciers spéciaux.

L'évolution industrielle qui se manifeste de toutes parts tend à concentrer le travail dans les grandes usines, où les matières brutes subissent de nombreuses transformations successives.

Cette loi du progrès s'est surtout imposée à la sidérurgie. Le traitement de grandes masses accroît le rendement chimique des opérations et la production des appareils, d'où résulte une réduction sensible des frais d'entretien et d'amortissement.

Une autre cause de cette concentration est l'économie considérable de combustible résultant de l'emploi de la fonte à la sortie même du haut-fourneau, et du dégrossissage des lingots sans réchauffage préalable. Enfin les gaz des hauts-fourneaux, trop abondants pour le service propre des four-

neaux, sont employés à la production de la force motrice des laminoirs ou de l'aciérie.

La manutention de poids élevés amène comme conséquence immédiate la substitution de l'énergie mécanique à la force humaine ; les anciens forgerons, à qui l'on demandait surtout des efforts physiques et de la résistance au feu, ont dû céder la place à des ouvriers instruits, machinistes et mécaniciens, dont l'intelligence et l'éducation professionnelle sont assez développées pour la conduite raisonnée des machines.

Une usine sidérurgique moderne réunit les trois services, hauts-fourneaux, aciéries et laminoirs; cependant, quelques installations anciennes ou éloignées des mines ne possèdent point de hauts-fourneaux, et s'approvisionnent de fontes et de ferrailles. L'aciérie est donc toujours l'intermédiaire entre les hauts-fourneaux ou les parcs qui l'alimentent, et les laminoirs qui travaillent ses produits; elle opère la transformation des métaux impurs en acier ductile obtenu sous une forme apte au travail de forge ou de laminage.

Cet ouvrage est consacré à l'étude générale de l'aciérie. Toutefois, pour ne pas trop l'étendre, nous n'avons pas empiété sur le domaine de la mécanique et de la construction : nous avons donné les principes généraux des machines, qui seuls intéressent le métallurgiste, sans en décrire les détails d'exécution.

Nous n'avons pas non plus entrepris la critique des divers types d'installations, qui dépendent surtout des circonstances locales et présentent chacun des avantages particuliers. Il est possible de faire d'excellent métal avec un matériel suranné, tandis que les dispositions les plus perfectionnées ne sont pas la garantie d'une bonne fabrication. D'ailleurs, ceux qui sont appelés à diriger ou surveiller l'exploitation d'une aciérie doivent tout d'abord l'utiliser telle qu'elle est, et lui faire produire tout ce qu'elle peut donner; c'est par l'usage qu'ils apprécieront la valeur d'un appareil, et ils devront le bien connaître avant de songer à l'améliorer ou à le remplacer.

La méthode d'observation a présidé à la rédaction de ce volume, aussi est-il essentiellement pratique. Nous y avons

décrit toutes les opérations que fait, exécute et contrôle le personnel de direction et de surveillance : exploitation, entretien, construction du matériel. A la suite des méthodes générales, nous avons indiqué les incidents quotidiens, les modifications apportées dans le travail suivant les circonstances ou l'installation de l'usine. En résumé, notre ouvrage est la mise en ordre et le développement du journal d'une aciérie et de ses annexes en pleine marche; à sa confection ont contribué tous ceux qui ont vécu cette existence, ingénieurs, contremaitres et ouvriers.

Cet ouvrage s'adresse à tous ceux qui, à divers titres, s'intéressent aux méthodes actuelles de la fabrication de l'acier.

Les jeunes contremaîtres y trouveront l'explication des opérations qu'ils exécutent, les ingénieurs débutants y apprendront les détails pratiques, les tours de main qu'ils ne connaissent pas encore; les mécaniciens y verront les conditions exigées des appareils qu'on leur demande : les nombreuses figures en représentent les types récents les plus variés.

Nous serions heureux de voir les constructeurs français entrer en parallèle avec leurs concurrents étrangers, qui ont fait de si grands progrès, surtout en Allemagne, dans la mécanique des forges. Nous souhaitons également que nos compatriotes s'adonnent nombreux à la sidérurgie : son champ est vaste, et elle sera pour tous intéressante et fructueuse.

H. N.

FABRICATION DE L'ACIER

CHAPITRE I

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ACIERS

PRODUCTION DES ACIERS FONDUS

Définition des aciers. — Le nom d'acier est actuellement réservé, en métallurgie, aux alliages de fer obtenus par fusion ; le nom de fer désigne les produits qui résultent d'un soudage obtenu par compression au rouge blanc, après affinage de la fonte.

A l'état liquide, il présente une composition sensiblement homogène ; lorsqu'on l'a maintenu en fusion pendant un certain temps, il ne renferme pas de corps étrangers interposés. Au moment de la solidification, se produisent des phénomènes particuliers qui diminuent l'homogénéité du métal liquide, mais elle reste néanmoins bien supérieure à celle du fer soudé.

Les aciers ordinaires sont formés en grande partie de fer, et de faibles quantités d'éléments étrangers, métalloïdes pour la plupart, dont une proportion minime entraîne des différences caractéristiques ; le silicium, le carbone, le soufre et le phosphore sont les plus fréquents. Certains métaux forment également avec le fer des alliages chimiquement définis, en suspension dans un excès de composants ; ceux qui s'allient le plus facilement avec lui sont de la même famille chimique : manganèse, nickel, cobalt, chrome, tungstène. La mutuelle affinité du carbone et du fer introduit le carbone dans tous ces alliages.

Il s'ensuit qu'il existe deux catégories d'aciers. Certains, renfermant comme métaux étrangers le manganèse seul, qui d'ailleurs accompagne le fer dans ses minerais, sont caractérisés et modifiés par des métalloïdes ; ce sont les aciers courants, connus depuis long-

temps, de fabrication et d'emploi faciles et simples. — D'autres, de découverte plus récente, sont des alliages obtenus par un traitement secondaire des premiers, purifiés en tout ou en partie de leurs métalloïdes, et additionnés de métaux. Leur fabrication et leur mise en œuvre surtout nécessitent des soins particuliers, que peuvent seuls leur donner d'habiles ouvriers. Ils sont réservés à des emplois spéciaux : artillerie, blindages, marine ; par leurs qualités et par leur prix, ils forment pour ainsi dire des produits de luxe.

Réduction des minerais de fer. — La plupart des minerais traités industriellement ne sont pas susceptibles de produire du fer presque pur, et particulièrement sans carbone. Les divers essais de production directe se heurtent au même obstacle : la réduction du fer par le carbone, sans excès de ce dernier corps, n'est pratiquement réalisable qu'avec une perte en fer trop importante pour être compensée par la simplicité du procédé ; pour être suffisante, l'action du carbone doit être complète ; elle dépasse alors le but.

Bien que de nouvelles méthodes soient fréquemment essayées, que d'anciennes même (foyers catalans, bloomeries américaines) soient encore employées dans des régions où abonde un minerai riche, la sidérurgie actuelle prend un intermédiaire, la fonte, qui lui permet d'extraire des minerais le maximum des métaux qu'ils renferment.

La réduction intense qu'exige la séparation complète de ces métaux apporte dans la fonte une teneur en carbone atteignant 4 à 5 0/0, qui dénature complètement les propriétés du fer. La gangue provoque de même, dans la fonte, la présence de métalloïdes, réduits en même temps que le métal à sa température de fusion, surtout du silicium, du soufre et du phosphore. L'alumine n'est pas, au haut-fourneau, soumise à une température suffisante pour être ramenée à l'état métallique. Enfin, tous les minerais de fer renferment, en proportion variable, mais toujours sensible, du manganèse qui s'alliera au fer, bien que sa réduction, plus endothermique, exige la présence du carbone pur, afin d'assurer la saturation de l'oxygène de ses combinaisons les moins oxygénées.

Le haut-fourneau produit, en somme, un traitement brutal, qui dépasse son but ; il faut ensuite rétrograder, par l'opération inverse, c'est-à-dire par une oxydation, qui portera sur les éléments mêmes à éliminer, et devra être arrêtée au moment précis. L'énorme affinité du fer pour le carbone, aux hautes températures — cause de la dif-

ficulté que l'on éprouve à maîtriser la réduction — devient précisément une raison de la sécurité, de la docilité rencontrées dans le réglage de l'opération oxydante. Une fonte, quelle qu'elle soit, peut être oxydée de manière à produire un acier; mais on facilitera l'opération, si l'on a soin de mener convenablement la marche du haut-fourneau, de manière à permettre aux impuretés de s'introduire dans la fonte suivant les proportions les plus favorables.

CARACTÈRES DISTINCTIFS DES FONTES

Les caractères distinctifs des fontes dérivent, pour la plupart, de leur forte teneur en carbone, laquelle varie de 2,5 à 7 0/0, suivant les qualités; les fontes les moins carburées sont les ferrosiliciums à 10-12 0/0 Si, tandis que les plus riches en carbone sont des alliages manganésés ne renfermant que très peu de fer. Une partie de ce carbone est à l'état de combinaison chimique, et, lorsque la teneur totale dépasse le point de saturation à froid de l'alliage carbone-fer, l'excès de carbone se sépare sous forme de graphite, produisant les fontes truitées, grises et noires. La présence du graphite n'implique pas nécessairement une grande richesse en carbone; ainsi les ferromanganèses, contenant 7 0/0 de carbone, ne présentent pas de taches graphiteuses, parce que, grâce au manganèse, leur point de saturation n'est pas inférieur à cette teneur.

Le carbone abaisse le point de fusion de la fonte, lorsqu'il est à l'état de combinaison chimique; les fontes blanches coulent vers 1.080°, avant les fontes grises dont la fusion ne commence qu'à 1.150-1.200°. En général, la température de fusion s'abaisse lorsque la proportion d'impuretés augmente.

Le phosphore avance aussi le point de fusion en procurant à la fonte une notable fluidité; il en résulte un grand avantage dans le traitement au convertisseur basique, au point de vue de la liquidité du bain décarburé, à la température qu'il possède au commencement du sursoufflage.

En raison des éléments plus légers que le fer, la densité oscille entre 7,2 et 7,6, selon la composition et l'état des constituants; les fontes grises sont les moins lourdes, à cause du graphite qu'elles tiennent en suspension.

Les fontes sont fragiles et résistent mal aux chocs ; on les casse très facilement après qu'elles ont été trempées à l'eau ; les fontes blanches éclatent souvent d'elles-mêmes, par un refroidissement brusque. La dureté dépend de la proportion du carbone combiné ; les fontes grises sont attaquables au burin et à la mèche des forets, parce qu'une notable partie de leur carbone se trouve à l'état graphitique. Les fontes blanches, les fontes Thomas, sont presque inattaquables aux outils ; quand il faut les désagréger, il est indispensable de procéder par chocs, sans essayer de les trancher, sinon l'outil refoule et s'émousse.

CARACTÈRES DISTINCTIFS DES ACIERS

Les aciers fondus de qualité ordinaire présentent des caractères tout différents, dus à leur pureté relative comparativement à celle de la fonte. Les plus carburés, aciers durs au creuset, pour outils, contiennent 1,2 0/0 de carbone ; les plus purs, aciers Martin sur sole basique, n'en renferment que 0,04 0/0.

La *température de fusion* croît avec la pureté du métal ; à ce point de vue, l'influence du carbone est plus considérable que celle des autres constituants. Pour les aciers renfermant peu de silicium et de manganèse, elle est environ de :

1.480°	pour un métal	à moins de 0,1 0/0 de carbone.	
1.450°	—	à 0,4 0/0 de carbone.	
1.410°	—	à 0,6	—
1.380°	—	à 1,2	—

Les aciers ne deviennent donc liquides qu'à une température notablement plus élevée que les fontes ; c'est pourquoi leur fabrication a été longtemps restreinte, au profit de celle des métaux soudés, travaillés au-dessous de 1.250°.

Leur *texture* est grenue, formée de cristaux dont les dimensions et la forme sont fonction de la composition chimique et du travail mécanique subi par le métal. Le carbone, le tungstène la rendent très fine, donnent aux cassures un aspect soyeux d'un gris mat ; le phosphore, par contre, augmente la grosseur du grain, rend la

texture brillante, à reflets bleutés. Ces caractères ne sont pas suffisamment absolus pour servir de base certaine dans la fabrication: la température du travail, les efforts mécaniques produisent des modifications dont l'importance augmente avec la quantité de travail absorbée par le métal.

Lorsque les efforts ont dépassé la limite d'élasticité des cristaux et amené leur rupture, le glissement et l'allongement de chacun des grains ont produit une structure fibreuse, dite à nerf, dont l'aspect ressemble à celui du métal obtenu par soudage. Le nerf se manifeste d'autant plus nettement que plus grande est la différence entre la température de la malléabilité et celle de la fusion; les aciers durs renfermant une notable proportion de carbone ou de phosphore prennent difficilement la texture à nerf. Les corps étrangers qui, dans le métal fondu, peuvent rester interposés entre les cristaux, tendent à produire du nerf lors de l'étirage, point très important lorsque la cassure sert à juger de la qualité du métal. Les éprouvettes renfermant des grains de scorie ont une texture grise et nerveuse, alors que le métal peut être encore carburé et phosphoreux. Un métal qui, liquide, a subi une oxydation très intense et conserve en suspension un excès d'oxyde de fer non dissous, présente une cassure terreuse caractéristique, analogue à celle d'un fer très nerveux rompu brusquement.

La *malléabilité* d'un métal est sa propriété d'éprouver, à certaines températures, des déformations permanentes, sous une intensité d'efforts mécaniques qui, dans d'autres conditions thermiques, eût provoqué la rupture. Elle dépend, par suite, de la différence entre la charge de rupture et celle qui correspond à la limite d'élasticité, sans être nécessairement fonction directe de la température. Pour chaque nuance d'acier, cette différence passe par un minimum à une température déterminée, pour laquelle le métal est dit rouverin; l'écart est alors resserré entre des limites si étroites que, pratiquement, tout effort dépassant la limite d'élasticité provoque la rupture.

L'acier fondu très pur est très malléable; cette propriété varie en sens inverse de la teneur en carbone, pour disparaître chez les fontes blanches. Les lamineurs accusent fréquemment le phosphore de diminuer la malléabilité à chaud; il n'est cependant pas, dans les proportions usuelles, incompatible avec un bon travail : des tôles à 0,25 0/0 de phosphore se laminent parfaitement, mais deviennent d'une extrême fragilité à froid ; elles peuvent se briser spontanément, lors du cisaillage.

Le silicium, au contraire, est un ennemi du laminage; mais une grande partie des inconvénients qui lui sont imputés sont dus à la silice, avec laquelle le confondent les méthodes d'analyse courantes. Un bain oxydé, qui est raffiné au moyen du silicium seul, produit un métal très sec, tandis qu'une addition simultanée de silicium et de manganèse produit de bons résultats. Dans le premier cas, l'attaque au chlore gazeux, préconisée par M. Pourcel, laisse un squelette de silice, plus ténu certes que celui qu'on observe dans le fer, mais notable, alors qu'il est de beaucoup réduit lorsque au même bain est faite une addition manganésée supplémentaire.

On en déduit que le silicium et le manganèse, tous deux réducteurs fort actifs, se transforment, au contact d'un bain oxydé, en deux oxydes d'affinité mutuelle très vive, et forment une scorie bien fluide, qui surnage. Un acier Bessemer acide, fabriqué avec des fontes silicieuses par décarburation incomplète sans raffinage, peut paraître rouverin, vu la présence de la silice occluse, que sa ténuité a empêché de se séparer et maintient en émulsion.

Bien plus grande est l'influence du soufre et de l'oxygène sur la malléabilité. Quoique pouvant éliminer partiellement le soufre, l'aciérie évite toujours l'emploi de fontes assez sulfureuses pour devenir dangereuses. Le soufre est plus à craindre dans l'acier fondu que dans le métal soudé, par suite de la présence de l'oxygène utilisé pour l'affinage. Avec 0,1 0/0 de soufre, un acier est rouverin au rouge cerise, mais se forge bien au blanc soudant; fréquemment, une éprouvette d'aciérie, forgée rapidement en un barreau d'essai, ne présente pas de criques, alors que les lingots laminés en profilés de faible épaisseur, c'est-à-dire terminés à température réduite, tombent en morceaux dans les cylindres. En raison des graves accidents causés par le soufre, mieux vaut en faire l'élimination au haut-fourneau, au moyen d'un laitier calcaire, et n'employer à l'aciérie que des fontes à moins de 0,06 0/0 de soufre.

L'oxygène présente, à un moindre degré, des inconvénients analogues; son influence s'ajoute ordinairement à celle du soufre, pour les aciers de conversion; il est rare qu'une fonte trop sulfureuse ne donne pas, au soufflage, particulièrement par le procédé Thomas, un bain fortement oxydé.

Le remède dont dispose l'aciérie contre les mauvais effets du soufre est l'emploi du manganèse, qui en atténue sensiblement l'action. Le sulfure de fer est décomposé par le manganèse; la solubilité du sulfure manganeux dans la fonte est faible; il s'en sépare

aisément par différence de densité. Sur l'arsenic, son influence est sensible, et vis-à-vis de l'oxygène, le manganèse est par excellence le réducteur de la sidérurgie moderne : un métal accidentellement sulfureux ou suroxydé doit recevoir, même avant la fin de l'affinage, des additions plutôt exagérées de manganèse; il sera laminable s'il renferme :

S............................	0,08 0/0
Mn............................	0,50 0/0

L'aluminium à haute dose diminue la malléabilité; mais, avec les quantités généralement employées, 1/10.000 à 1/1.000, son rôle ne peut qu'être avantageux, par son énergie réductrice.

Les propriétés de *soudage* sont intimement liées à la malléabilité à chaud; en principe, tout acier non malléable ne se soude pas. Le soudage s'effectue grâce à une réunion, par compression, en contact intime, des molécules convenablement chauffées. L'une des nombreuses théories du soudage l'explique par une fusion superficielle des éléments rapprochés, déterminée par l'absorption du travail de compression : le phénomène serait analogue au regel de deux blocs de glace.

Les métaux malléables ne se soudent pas tous. On considérait autrefois l'acier comme insoudable à lui-même, parce que le terme *acier* impliquait l'idée d'un métal assez fortement carburé. Le carbone constitue en effet un obstacle au soudage, bien que des aciers au creuset, très purs en autres métalloïdes, se soudent convenablement malgré 0,8 0/0 de carbone.

Le soufre et le phosphore, aux teneurs courantes, ne présentent pas d'obstacle sérieux pour le soudage. Le manganèse est réputé pernicieux, mais seulement au delà de 0,5 0/0. Quant au silicium, il semble produire des effets variables : un acier Bessemer acide, c'est-à-dire silicieux, se soude bien, tandis qu'un acier raffiné au ferrosilicium, et de même teneur indiquée à l'analyse, ne se soude pas; en ce dernier cas, comme pour la malléabilité, le silicium n'existe pas totalement à l'état combiné avec le fer, mais est en grande partie sous forme de silice; il nuit au soudage par suite de sa dispersion et de son interposition entre les surfaces à réunir. On devra rechercher, pour avoir des aciers soudables, moins de 0,2 0/0 de silicium, et moins de 0,5 0/0 de manganèse, si les aciers sont fortement carburés.

D'ailleurs la facilité avec laquelle s'opère le soudage tient beaucoup à l'habileté de l'ouvrier, et la substitution de l'acier au fer pour la fabrication des bandages de roues amena de la part des charrons d'injustes récriminations, les aciers doux qui leur sont livrés étant parfaitement soudables.

Les corps étrangers augmentent la *dureté* du fer; parmi eux, le manganèse et le carbone ont une influence prépondérante. Celle du carbone ne dépend pas uniquement de sa proportion, mais elle varie considérablement avec l'état des combinaisons où il se trouve dans le métal. L'acier doux, sans manganèse ni carbone, est très mou, plus dur cependant que le fer soudé ; ce dernier est à une extrémité d'une échelle dont l'autre est occupée par la fonte blanche. Un acier refroidi lentement ou recuit reste bien plus doux qu'après avoir été refroidi brusquement et trempé. L'abaissement rapide de la température depuis le rouge cerise, au moyen d'un fluide réfrigérant quelconque, favorise la production d'un composé carburé très dur, formant un réseau autour de la masse, et s'opposant à sa déformation. Le manganèse exalte l'influence de la trempe, mais expose à des fissures, lorsque les pièces ont des formes compliquées et présentent des épaisseurs inégales, d'autant plus que sa teneur est plus considérable.

Ni le chrome ni le tungstène ne causent de semblables accidents.

La dureté, après trempe, d'un acier à 0,9 0/0 de carbone, dépasse celle du verre, mais la contraction brusque a donné naissance à des tensions internes persistantes et à un excès de fragilité; un recuit au-dessous du rouge naissant atténue ces défauts en modifiant l'association du fer avec les durcissants.

La *densité* de l'acier compact varie peu avec la qualité : de 7,80 à 7,85. La trempe, figeant brusquement le métal, maintient en partie la dilatation qu'il possédait à chaud, et produit une diminution de densité, pratiquement négligeable. On prend généralement le chiffre 7,8 pour les aciers laminés.

Classification des aciers. — La classification des aciers repose sur les caractères qu'ils présentent aux essais mécaniques; elle est d'ailleurs purement conventionnelle, et varie suivant les pays et les constructeurs :

CLASSIFICATION DU COMPTOIR DES ACIERS THOMAS

NUANCES	CHARGE DE RUPTURE en kilogrammes par millimètre carré	ALLONGEMENT pour 100 mesuré sur 100 millim.	TREMPE
Acier extra-doux..	au-dessous de 40	24-28	ne trempe pas.
— doux.......	40-46	20-24	»
— demi-doux..	46-50	18-22	trempe peu.
— demi-dur ...	50-65	12-17	trempe assez bien.
— dur.........	65-75	12-15	trempe bien.
— extra-dur...	au delà de 75	8-10	»

CLASSIFICATION DES ACIERS EMPLOYÉS A LA FABRICATION DES ARMES PAR LE MINISTÈRE DE LA GUERRE

NUANCES	CHARGE de RUPTURE MOYENNE en kilogrammes par millimètre carré	ALLONGEMENT pour 100 MOYEN mesuré sur 100 millimètres	TREMPE		PLIAGE
Extra-doux et doux..	40	27	augmente la résistance de 15 kilogrammes au maximum		à bloc.
Demi-doux.	53	22	max. R = 75	min. A. 0/0 = 14	à 60°
Demi-dur..	58	20	max. R = 82	min. A. 0/0 = 13	à 30°
Dur........	68	17	max. R = 88	min. A. 0/0 = 11	
Extra-dur..	au delà de 72		R > 115		

Quelle que soit d'ailleurs la nomenclature employée, les résultats ne sont comparables entre eux qu'avec des barreaux de mêmes dimensions, fabriqués de la même manière. En raison des influences du travail mécanique à froid et de la trempe produite par un refroidissement à l'air, on opère, à l'aciérie, sur des éprouvettes forgées au pilon dans un petit lingot, puis recuites et refroidies lentement sous la cendre ou le sable.

Le mode de fabrication a également son importance : deux lingots d'une même coulée donneront des caractéristiques différentes, si l'un a été étiré au marteau, l'autre au laminoir. L'exécution des conditions imposées par un cahier des charges implique l'établissement d'une échelle de comparaison entre deux séries d'essais, les uns exécutés dans le sens même des prescriptions, les autres suivant la pratique courante de l'aciérie.

CHIMIE MÉTALLURGIQUE DU FER

Le *fer chimiquement pur* est un produit de laboratoire qui n'a aucune application; il cristallise en cubes, et fond, d'après Osmond, vers 1.500°. La fabrication en est délicate; les procédés industriels ne donnent le fer qu'à l'état d'alliage, accompagné de métaux et de métalloïdes. La proportion des corps étrangers peut rester inférieure à quelques millièmes; ils se trouvent à l'état de combinaisons chimiquement définies, dissoutes dans un excès de fer.

Les *alliages du fer* obéissent aux règles générales : résistance et dureté ordinairement supérieures à celles du métal dominant, malléabilité réduite, température de fusion inférieure à la moyenne de celles des composants, quelquefois très voisine de la plus basse.

L'alliage est homogène à l'état liquide; le refroidissement et la solidification en séparent diverses combinaisons suivant leur fusibilité respective; des groupes de cristallisations se forment, englobées dans l'excès du métal mère. L'hétérogénéité apparaît, lorsqu'on attaque la surface polie au moyen d'un réactif de faible intensité, en présence duquel les combinaisons se comportent différemment, et sont alors mises à nu. Comme, dans les aciers courants, le fer est en grand excès, les différences de composition sont presque insensibles dans un bloc solide issu d'une masse liquide homogène, et les propriétés ne sont que faiblement modifiées par la solidification ; les liquations prenant naissance dans l'ensemble ne produisent que des variations moléculaires insuffisantes pour amener des irrégularités et des mécomptes. Pratiquement le constructeur peut regarder comme homogène l'acier fondu convenablement travaillé.

Changements d'état moléculaire. — A mesure qu'on élève la température d'un échantillon de fer, celui-ci passe par divers états moléculaires; MM. Pionchon et Osmond en ont déterminé trois. Le plus commun est le fer α, stable aux températures ordinaires jusqu'à 690°; le magnétisme, la conductibilité électrique et une ductibilité notable en sont les caractères.

Vers 700° se produit un changement radical : diminution brusque de la densité, de la malléabilité : des fers qui se forgeaient bien à température plus basse criquent au delà de 700°; la conductibilité électrique, la susceptibilité magnétique deviennent moins intenses.

Cette transition s'opère avec difficulté : si le mode d'application de la chaleur est progressif, on constate un arrêt sensible dans l'élévation de température aux environs de ce point particulier. Il en résulte que le métal β doit posséder une chaleur de formation notable, qui apparaît encore avec plus de netteté lors du refroidissement à partir d'une température supérieure à 700°. A ce moment, un éclat plus vif, une luminosité plus grande, la *recalescence*, témoignent d'une réaction interne exothermique : le fer β est un métal de propriétés atténuées, un état intermédiaire et instable, accompagné de transformations dans la structure moléculaire.

Entre 840 et 880°, le fer γ prend naissance ; il présente des propriétés plus franches, permet un travail plus aisé, même s'il était primitivement rouverin ; son magnétisme s'annule entièrement. L'état γ se prolonge jusqu'à la fusion, qui est cependant précédée d'une transformation encore peu connue, d'un intérêt d'ailleurs purement scientifique.

Les températures 690° et 860° limitant l'existence du fer β sont deux points remarquables, quant aux propriétés chimiques du fer, la constitution moléculaire et l'état de combinaison du carbone dans le métal, dont dépendent les propriétés mécaniques.

Combinaisons du fer avec l'oxygène. — La sidérurgie s'occupe des composés du fer formés soit avec les métalloïdes, oxygène, soufre, phosphore, arsenic, silicium, carbone ; soit avec les métaux de la même famille chimique, manganèse, nickel, chrome, tungstène, aluminium. Parmi ceux de ces composés dont l'usage est entré dans la pratique, il existe pour les uns des teneurs maxima des corps étrangers au fer ; les autres peuvent renfermer une proportion quelconque de ces corps.

L'affinité du fer pour l'oxygène explique la difficulté que présente la réduction du minerai, et la facile oxydation du métal à haute température. Selon la proportion d'oxygène, cette oxydation peut donner naissance au protoxyde FeO ou au sesquioxyde Fe^2O^3.

Ce dernier, le plus oxydé, n'existe véritablement qu'à froid, dans les minerais par exemple : au rouge, il se dissocie spontanément, ou se trouve décomposé par les réducteurs, manganèse, silicium, carbone, fer en excès, et même oxyde de carbone ; les résultats de la réaction sont des corps dont la composition varie entre Fe^2O^3 et Fe, suivant la température et l'énergie des réducteurs. On rencontre, par suite, rarement le sesquioxyde en métallurgie, tout au plus en pré-

sence de scories fortement oxydées et très basiques, uni avec le protoxyde, sous forme de composés intermédiaires entre FeO et Fe^2O^3. Vis-à-vis des bases alcalino-terreuses, il se comporte comme un acide faible, forme en particulier avec la chaux un ferrate calcique, si la chaux n'est pas saturée par un acide plus puissant, silice ou acide phosphorique. Les scories siliceuses sont peu favorables à l'existence du sesquioxyde, contrairement aux scories très basiques, dont la chaux non saturée peut se combiner à la fonction acide du sesquioxyde. Les scories de déphosphoration Thomas fort calcaires, et formées dans des coulées relativement froides, en contiennent une notable quantité, beaucoup moins cependant qu'elles ne renferment de protoxyde.

Les actions oxydantes moins énergiques, ou plutôt la présence de réducteurs, produisent des oxydes sans formule déterminée, compris entre FeO et Fe^2O^3, provenant de l'action du sesquioxyde sur la portion de lui-même qui a déjà subi une réduction ; ce sont des corps transitoires instables, qu'un excès de fer transforme complètement en protoxyde.

Celui-ci n'existe à l'état libre qu'en présence d'un excès de fer qui le protège contre l'oxydation de l'air ; pour un poids donné d'oxygène, il est l'oxyde le plus ferrugineux et le plus exothermique, de sorte qu'il prend naissance dans toutes les opérations sidérurgiques, et en constitue le produit final. Sa fonction basique est très énergique ; elle sature la silice, l'acide phosphorique, l'alumine, en donnant des combinaisons très stables. Il est réductible par le silicium, le manganèse, le carbone ; l'oxyde de carbone lui-même le transforme en fer métallique lorsque l'acide carbonique ainsi formé reste en faible proportion dans le mélange gazeux, relativement à l'oxyde de carbone. Vers 420°, ce dernier, sans réduire le protoxyde, subit à son contact un dédoublement en acide carbonique et carbone libre, sans que la proportion de protoxyde soit en rapport avec la quantité d'oxyde de carbone décomposé.

L'oxydation du fer fondu, soit dans la conversion au procédé Bessemer, soit dans l'affinage au procédé Martin, produit du protoxyde, car les oxydes plus riches, l'oxyde salin (FeO,Fe^2O^3) en particulier, sont immédiatement décomposés par le grand excès de fer métallique. Le protoxyde reste soluble dans le fer fondu jusqu'à la teneur de 1,1 0/0, mais la limite de saturation diminue rapidement lorsque le bain contient des réducteurs. La présence de cet oxyde, soit en dissolution véritable, soit en émulsion ou en suspension,

donne au fer le caractère rouverin, de même que le soufre, mais à un degré moindre ; cet état se manifeste avec 0,5 0/0 FeO, au rouge cerise; il est presque nul au rouge blanc. Toutes les opérations métallurgiques procédant par oxydation introduisent du protoxyde dans le métal, et nécessitent par conséquent un raffinage final; les aciers fondus Thomas, avant addition, sont les produits renfermant le maximum de protoxyde, en raison de l'oxydation intense qu'ils ont subie.

ANALYSES D'ACIERS LIQUIDES AVANT RAFFINAGE

	ACIERS DE CONVERSION					ACIERS SUR SOLE	
	ACIDE		BASIQUE			ACIDE	BASIQUE
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Si p. 100.....	0,22	0,16	0,01	0,00	0,00	0,18	0,04
Mn —	0,35	0,24	0,28	0,19	0,12	0,32	0,22
C —	0,10	0,08	0,10	0,06	0,05	0,15	0,07
Ph —	0,095	0,085	0,110	0,070	0,045	0,065	0,050
FeO —	0,18	0,24	0,70	0,85	1,05	0,16	0,25

Combinaisons du fer avec le carbone. — Le fer, à l'état métallique ou oxydé, se carbure spontanément en présence de carbone pur ou d'hydroçarbures. Cette affinité considérable constitue l'obstacle auquel se heurtent tous les procédés directs ; la réduction du minerai par le carbone engendre, non du fer pur, mais des alliages carburés. Un fer ne devant contenir que des traces de carbone doit être produit dans des conditions où l'atmosphère et les scories seront fortement oxydantes, et motiveront par conséquent un important déchet de fer. La décarburation est d'ailleurs plus rapide et plus complète en présence d'un garnissage et de scories basiques que dans un milieu siliceux, où l'oxydation se porte plutôt sur le fer, grâce à la facilité de saturation des oxydes métalliques par la scorie.

La limite d'absorption du carbone est rapidement atteinte : du fer pur, fondu longtemps dans un creuset avec un excès de carbone, en absorbe au maximum 4,6 0/0. Divers métaux, en particulier le chrome et le manganèse, élèvent le point de saturation du fer, car ils possèdent eux-mêmes un pouvoir absorbant supérieur au sien. Avec 50 0/0 de chrome, on atteint 8 0/0; aussi les ferrochromes sont-ils d'autant plus précieux qu'ils sont moins carburés. L'influence

du manganèse est sensiblement progressive avec sa teneur dans l'alliage ; les ferromanganèses industriels à 80 0/0 ont jusqu'à 7 0/0, et le manganèse métallique presque pur, à 90 0/0, jusqu'à 7,5 0/0 de carbone.

L'affinité mutuelle du fer et du carbone se manifeste également par la répartition du carbone dans le métal solide. Un acier hétérogène, dans lequel le carbone n'existe pas en tous points à la même teneur, maintenu longtemps au rouge, se transforme peu à peu, jusqu'à ce que cette teneur s'égalise partout. Les effets de la *ségrégation* perdent une partie de leur importance lors du refroidissement et du réchauffage précédant le travail au laminoir. Non seulement le carbone peut se déplacer dans le fer solide, mais il émigre, de corps extérieurs solides vers le fer, ou de la fonte vers des corps extérieurs oxydés ; c'est le principe des deux opérations suivantes : *cémentation*, et *adoucissement* des fontes aboutissant au métal mixte appelé fonte malléable. Ces réactions ont lieu au rouge vif, par un contact intime et prolongé, entre acier et carbone, — ou entre fonte et oxyde de fer. Cette mobilité du carbone dans le fer conduit à penser qu'il s'y trouve renfermé sous une forme particulière. Le type de la combinaison varie d'ailleurs avec la température et les circonstances suivant lesquelles celle-ci est atteinte.

A l'état liquide, le métal, fonte ou acier, possède tout son carbone sous une forme unique, mais dont l'analyse ne peut indiquer la nature ; quelle que soit la température, tant que la fusion est maintenue, la répartition est identique en tous points du bain.

Pendant la solidification et le refroidissement, divers cas peuvent se présenter. Au-dessus de 2,3 0/0 de carbone, c'est-à-dire uniquement dans les fontes, la capacité de saturation en carbone est plus faible à l'état solide qu'à l'état liquide, en présence de certains corps, le silicium par exemple ; l'excès de carbone se sépare donc par une liquation qui l'abandonne à l'endroit où il naît, formant ainsi le graphite, en paillettes noires qui donnent aux fontes silicieuses leur couleur grise. La séparation s'effectue spontanément dès que l'on abaisse artificiellement le point de saturation, soit par une addition de silicium ou d'aluminium, soit par simple refroidissement : très fréquemment, le spiegel refondu au cubilot dégage, dans le chenal de coulée, des paillettes de graphite, comme une eau sursaturée laisse échapper des bulles gazeuses. Une compression énergique accompagnant une solidification brusque a même pu donner naissance, dans les expériences de M. Moissan, à du carbone diamant.

Dans les aciers fondus, quelle que soit leur composition, la solubilité du carbone est supérieure à leur teneur effective en cet élément ; on ne peut donc y déceler de graphite.

Une solidification suivie d'un refroidissement lent maintient le carbone uniformément dissous jusqu'à une température T, à laquelle se produit, entre les atomes de carbone, une scission régie par des lois encore peu connues. Une partie d'entre eux subsistent, uniformément dissous ; le reste se sépare et donne naissance à un réseau qui emprisonne pour ainsi dire la masse métallique. Le carbone ainsi séparé n'est point pur comme le graphite ; on le suppose associé au fer, formant avec lui un carbure à 7,2 0/0 de carbone ; sa formule chimique serait sensiblement Fe^3C. Ce corps porte le nom de *cémentite ;* la métallographie permet de le reconnaître, après attaque convenable de la surface de l'échantillon.

Le refroidissement se poursuivant lentement, on atteint une température T', à laquelle la tendance de formation de la cémentite est si considérable que la majeure partie du carbone prend cet état. Comme pour la plupart des réactions métallurgiques, l'intensité de cette transformation dépend, dans une large mesure, du temps et de la température : la naissance de la cémentite n'est pas instantanée, ce qui est rationnel, puisque ces deux éléments ont pu se trouver longtemps en contact intime, sans s'unir ensemble.

Les températures T et T' s'abaissent lorsque la teneur en carbone augmente ; elles sont sensiblement confondues avec celles qui limitent l'existence du fer β : T' varie en effet de 660° à 705° ; T est voisin de 850°. La formation rapide, à T', d'une notable quantité de cémentite est exothermique, et la chaleur ainsi développée, étant utilisée uniquement à élever la température du métal, produit le phénomène de la recalescence.

Si, par contre, on hâte le refroidissement depuis la température T, de manière à traverser très rapidement l'intervalle (T—T'), la formation de la cémentite est considérablement réduite ; le carbone subsiste uniformément dissous à l'état solide, comme il l'était dans l'acier liquide. Néanmoins, si rapide que soit le refroidissement, la susceptibilité de formation du carbure à la température T' est encore assez intense pour que le métal final en renferme une proportion notable. Cette susceptibilité n'est pas nulle à froid : elle se manifeste dès 70° ; un acier trempé s'adoucit par l'usage, lorsqu'on le maintient dans l'eau tiède ; la rapidité de la transformation augmente avec la température, pour devenir presque brusque à T°. Pratique-

ment, cette opération constitue le recuit, appliqué aux pièces trempées, dans le but de diminuer leur fragilité.

Les aciers de forge contiennent le carbone sous ces deux états, dans un rapport dépendant du traitement thermique qui leur a été appliqué : carbone de carbure dans le premier cas, ou carbone de cémentite; — carbone de trempe dans le second.

Un troisième état peut se présenter exceptionnellement dans certains aciers ayant 1 0/0 de carbone au minimum, et maintenus pendant cinq jours au moins à une température dépassant T'°. Entre T' et T s'effectue une séparation analogue à celle du graphite; le résultat en est quelquefois visible sur la cassure; en tout cas, l'analyse la révèle. Ce carbone de recuit se rencontre d'ordinaire dans les moulages longtemps recuits dans le but d'en modifier le grain; il se rapproche du graphite, dont il est une manifestation atténuée; son apparition nécessite de plus puissantes influences; il ne se combine pas par trempe, mais, au delà de T°, disparaît pour reformer du carbone dissous.

Combinaisons du fer avec le silicium. — Le silicium peut s'unir au fer en proportions croissantes avec la température, sans qu'il existe une teneur limite maxima; l'électrométallurgie produit des ferrosiliciums à 50 0/0. La combinaison est assez vive pour favoriser la réduction de la silice par le carbone et le manganèse, alors qu'en l'absence de fer cette réduction n'a lieu qu'à des températures fort élevées. Ainsi, un bain d'acier en contact avec un garnissage siliceux ou des scories de même nature s'enrichit en silicium. Ce fait se produit pendant la coulée en lingotières; les derniers lingots sont plus riches en silicium, plus pauvres en manganèse et en carbone que les premiers; en outre, il est partout reconnu que la durée des poches de coulée, lors d'une fabrication d'acier à rails, est notablement réduite, par la corrosion plus grande qu'exercent le carbone et le manganèse. Le revêtement des cubilots à spiegel s'use aussi très rapidement, non seulement au niveau de la crasse, mais sur toute la hauteur du bain métallique.

L'affinité du silicium pour le fer croît plus rapidement avec la température que la chaleur de formation des silicates, de sorte qu'en présence de scories ferrugineuses et basiques, le silicium subsiste partiellement dans le métal. Dans l'acier Bessemer, le silicium se retrouve dans le bain final parce qu'au début la température s'élève rapidement grâce à sa combustion partielle; l'oxydation se porte

alors de préférence sur le carbone. Dans l'opération Thomas, au contraire, la température reste basse pendant la première moitié du soufflage; le silicium est éliminé complètement avant même que la combustion du carbone soit devenue notable.

Le silicium durcit le fer, mais moins que le carbone. Son influence remarquable sur la solubilité des gaz dans le métal le fait employer pour la fabrication des moulages. Les lingots d'acier au silicium se recouvrent de croûtes, formées de divers produits riches en éléments étrangers au fer et en silice, et se figeant rapidement. Il est difficile de déterminer si ce sont des combinaisons du silicium qui se sont oxydées à l'air, ou une scorie formée par la silice en suspension qui se serait unie aux oxydes dissous.

Combinaison du fer avec le soufre. — La propriété essentielle du soufre est de rendre le métal rouverin, avec plus d'intensité que l'oxyde de fer; son influence s'ajoute d'ailleurs à celle de ce dernier. Les aciers extra-doux qui, par suite d'une faible quantité de décarburants, sont toujours quelque peu oxydés, sont plus sujets aux criques que l'acier doux de construction; des fontes sulfureuses ne peuvent en aucun cas servir à la fabrication d'acier extra-doux.

Au haut-fourneau, un lit de fusion contenant du soufre donnera une fonte sulfureuse s'il ne renferme pas d'énergiques désulfurants, chaux et manganèse. En atmosphère réductrice, des scories fortements calcaires absorbent le soufre sous forme de sulfure calcique. Dans un milieu oxydant, le soufre d'une fonte ne s'oxyde pas complètement; son élimination nécessite une scorie franchement basique et elle n'a lieu qu'après celle des autres impuretés. Au convertisseur, une partie du soufre s'échappe avec les gaz sous forme d'anhydride sulfureux; une autre partie se retrouve dans les scories Thomas, à l'état de sulfure ou de sulfate calcique. La magnésie, bien que basique, est loin de posséder les propriétés désulfurantes de la chaux.

L'action du manganèse est différente; dissous dans le fer fondu, il décompose le sulfure de fer, comme son oxyde; le sulfure de manganèse, peu soluble, se sépare grâce à sa faible densité et se rassemble à la surface du bain. La scorie qui prend naissance dans les mélangeurs renferme des nodosités à 10-12 0/0 de sulfure manganeux, moins fusibles que la fonte.

Les fontes d'affinage basique, dites Thomas, nécessitent une teneur en manganèse supérieure à 1,1 0/0, car leur fabrication à

basse température les expose à demeurer sulfureuses. Une teneur de 0,5 0/0 de manganèse améliore notablement les aciers doux et demi-durs sulfureux : le manganèse en excès se combine sans doute avec le soufre, qui, sous cette forme, est moins nuisible qu'à l'état de sulfure de fer.

En pratique il ne faut pas montrer trop de confiance en ces procédés de désulfuration, ni affiner, par raison d'économie, des fontes sulfureuses ; c'est au haut-fourneau seul que doit revenir la tâche d'éliminer le soufre; l'emploi des désulfurants et du mélangeur n'a d'autre but que d'en compléter l'action.

Combinaison du fer avec le phosphore. — Le phosphore présente dans sa combinaison avec le fer une analogie avec le silicium, mais entraîne des perturbations plus caractéristiques. Il le durcit un peu moins que le carbone; à l'inverse de ce dernier, il produit une cristallisation à gros grains, cause de la fragilité des fers phosphoreux, d'autant plus sensible que la température s'abaisse. La teneur dangereuse varie avec celle des autres constituants, qui tous exaltent les effets du phosphore. Des aciers doux sont parfaitement utilisables avec 0,12 0/0 de phosphore, s'ils ne sont pas soumis à des chocs répétés, tandis qu'à cette teneur des aciers durs sont sujets à se briser; les compagnies de chemins de fer spécifient généralement un maximum de 0,10 à 0,11 0/0 pour leurs commandes de rails. Les aciers essayés à Terrenoire avec 0,3 0/0 devaient leur dureté au phosphore, et leur résistance à l'absence de carbone ; les résultats obtenus ne purent cependant autoriser à continuer cette fabrication qui constituait une sorte de défi jeté à certains principes de la métallurgie.

La réduction des phosphates est plus facile que celle des silicates; elle s'effectue par le carbone seul, même en présence d'une scorie basique; le silicium, le manganèse et probablement le fer la produisent également. C'est pourquoi le travail du haut-fourneau introduit la presque totalité du phosphore dans la fonte. Inversement, une oxydation à haute température n'atteint le phosphore qu'après les éléments plus oxydables; son élimination nécessite l'existence d'une scorie très basique, contenant de la chaux libre, qui puisse saturer l'anhydride phosphorique naissant.

On évite la présence du phosphore dans les fontes d'affinage, à moins que la teneur n'en soit assez forte pour justifier l'emploi d'un procédé de déphosphoration complète. De tels procédés permettent

de réserver les minerais très purs à des usages spéciaux, et d'employer pour les usages courants des minéraux, d'anciennes scories, jugés autrefois inutilisables.

Alliages ferrométalliques. — Le fer donne des alliages en toutes proportions avec la plupart des métaux des familles chimiques voisines. Le cuivre en notable proportion et l'étain le rendent cassant et aigre; le premier, qui se rencontre dans beaucoup de fontes, n'y existe qu'en quantité minime et inoffensive; l'étain peut provenir, dans la fabrication des aciers Martin, de la refonte de fers blancs insuffisamment désétamés.

Le tungstène, le titane, le vanadium sont employés comme durcissants, au lieu du carbone, en raison des autres propriétés particulières (élastiques, magnétiques, etc...) qu'ils communiquent au métal. Le nickel et le chrome forment avec le fer des métaux mixtes qui ne sont pas à proprement parler des aciers; ils sont réservés à la fabrication des pièces pour lesquelles des qualités particulières permettent d'accepter un prix de revient élevé.

Le manganèse existe dans la plupart des minerais de fer ; bien que sa réduction soit difficile, il se retrouve dans les fontes, auxquelles il donne un aspect miroitant, à facettes planes très brillantes. Pour les teneurs inférieures à 1 0/0, le mélange avec le fer est complet et intime et ne donne pas lieu à des liquations. Sa vive affinité pour le carbone justifie son emploi comme recarburant ; il est lui-même un durcissant d'efficacité cinq fois moindre environ que celle du carbone, jusqu'à la proportion de 1 0/0. Cependant, un acier manganésé prend fortement la trempe, et reste fragile; fréquemment des fissures se produisent, si la température de trempe dépasse 930°. La température de trempe convenable est inférieure à celle d'un acier carburé de même dureté.

Plus oxydable que le fer, le manganèse se comporte chimiquement comme un réducteur, pour les bains fondus oxydés. Il élimine le soufre en partie, et neutralise les actions pernicieuses de ce qui peut en rester. Son emploi général pour la production des aciers courants est dû à ces propriétés, à la faible action que, même en excès, il exerce sur le fer, enfin à son prix relativement bas; c'est le plus parfait et le plus économique des réducteurs.

Gaz dissous dans le fer. — Les traitements oxydants introduisent dans le fer liquide de l'oxygène, qui se combine sous forme de pro-

toxyde, et reste en dissolution ou en suspension. L'oxygène n'est pas le seul gaz qu'on rencontre dans le métal : hydrogène, azote, oxyde de carbone y existent sous divers états, désignés d'une manière générale par le terme *occlusion*.

Ces différents états sont : soit une combinaison chimique, analogue à celle de l'oxygène et du fer ; — soit une dissolution, tel le soufre uniformément disséminé dans le métal ; — soit enfin une sursaturation, une adhérence physique moléculaire (gaz occlus dans le charbon de bois, gaz dégagés par agitation d'une solution d'acide carbonique dans l'eau). En aucune façon d'ailleurs, l'état gazeux ne préexiste dans le métal liquide, mais il peut s'y manifester lorsque l'équilibre est rompu par des circonstances extérieures.

Lors de la solidification, les gaz occlus se séparent au moment même où s'opère la transformation, ou plus tard, quand le métal solidifié est au rouge cerise. Du métal liquide se dégagent de très petites bulles qui crèvent à la surface et brûlent avec une flamme pâle si elles renferment de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone. Toute agitation favorise leur expulsion : passage du métal du four dans la poche, coulée en chute au moyen d'une busette dont le jet éclabousse la surface métallique ; les gaz qui s'échappent ainsi étaient sans doute dissous à la faveur de la sursaturation. Dans la lingotière, des étincelles couvrent la partie supérieure du lingot d'une sorte de buée lumineuse ; semblables à la vapeur d'eau entraînant de fines gouttelettes, les gaz projettent de minces globules qui s'oxydent à l'air et se déposent sur les parois de la lingotière. Un métal très vif reste longtemps liquide et produit plus d'étincelles ; à ce point de vue, la composition chimique exerce une influence notable : le silicium, l'aluminium surtout, augmentant la solubilité des gaz, calment le métal qui se fige sans beaucoup d'étincelles.

Peu à peu, en se refroidissant, l'acier devient moins fluide ; les bulles naissantes éprouvent plus de difficulté à traverser la masse qui les surmonte ; elles se réunissent, acquièrent une certaine pression et refoulent le métal vers la partie supérieure du lingot, laissant ainsi des vides que l'acier trop pâteux ne peut plus combler.

Enfin le métal complètement solidifié perd au rouge une autre portion de ses gaz ; ce dégagement s'effectue par osmose, et remplit les soufflures où la pression s'élève. Cette tension, mesurée après refroidissement, est de plusieurs kilogrammes ; exaltée au rouge par la dilatation, elle doit atteindre à ce moment une valeur telle que des parois pâteuses ne l'auraient point supportée ; c'est une preuve

que l'augmentation de pression a été progressive, et que le maximum n'a été atteint qu'après solidification complète.

Le forage des soufflures permet d'analyser les gaz qu'elles contiennent, et, par suite, de calculer la pression sous laquelle ils se trouvaient emprisonnés. L'hydrogène domine, bien qu'il ne soit introduit dans le métal liquide que par la dissociation ou la décomposition de la vapeur d'eau. L'oxyde de carbone se dissout difficilement, puisque, dans les aciers durs, où il peut prendre naissance par réaction du carbone sur l'oxyde ferreux non réduit, il se trouve en très faible proportion. C'est donc l'hydrogène qui possède la solubilité la plus grande.

ANALYSES VOLUMÉTRIQUES DE GAZ EXTRAITS DE SOUFFLURES

	H	Az	CO
	pour 100	pour 100	pour 100
Acier dur Bessemer acide	90,0	9,8	0,2
— extra-doux Thomas	87,5	10,5	1,8
— dur Martin, à 0,25 0/0 Si	89,0	10,6	0,4
— doux Martin basique	86,5	12,5	1,0

Le métal, finement divisé et exposé dans le vide, dégage également les gaz qu'il renferme, mais on ne sait en ce cas quelle part attribuer à ceux qui proviennent de soufflures microscopiques. Le volume ainsi extrait est toujours faible par rapport au volume qui était occlus à l'état liquide, ce qui semble prouver que la majeure partie des gaz se dégage avant solidification ou se réunit dans les soufflures et la poche de retassement.

ANALYSES DE GAZ EXTRAITS PAR L'ACTION DU VIDE

NATURE DE L'ACIER	EN VOLUME PAR RAPPORT AU VOLUME DU FER			EN POIDS 0/0 PAR RAPPORT AU POIDS DU FER		
	H	Az	CO	H	Az	CO
Creuset, très dur	»	1,10	»	»	0,017	»
Martin, dur	»	0,65	0,17	»	0,010	0,0025
— doux	1,60	»	»	0,0017	»	»
Bessemer, doux	3,10	2,70	0,43	0,0034	0,04	0,0065

L'oxyde de carbone a deux sources : le gaz primitivement dissous dans l'acier liquide ; — et le gaz formé par réaction du carbone des additions sur l'oxyde non décomposé ou les parois des lingotières. L'action du carbone s'achève dans le métal solide, et peut même causer vers 440° le dédoublement de l'oxyde de carbone naissant en présence de l'oxyde de fer. La composition chimique du métal, la température, la rapidité de la coulée sont d'ailleurs autant de facteurs sur lesquels on peut agir pour diminuer les inconvénients qu'entraîne la présence des gaz occlus.

CHAPITRE II

ÉTUDE THÉORIQUE DE LA CONVERSION

DIVERS MODES DE FABRICATION DES ACIERS

L'affinité du fer pour les métalloïdes, en atmosphère réductrice, oblige à rejeter l'emploi exclusif du minerai dans la fabrication de l'acier. Les matières premières que l'on utilise sont : les fontes, les débris d'acier de toute origine, les oxydes naturels et des produits artificiels tempérant la puissance réductrice des fontes.

Les proportions suivant lesquelles ces matières sont mises en œuvre sont régies par la technique des procédés, et par des lois économiques.

Toute la fabrication industrielle doit être réalisée avec le moins de dépense possible, ce qui conduit à des méthodes de travail différentes, suivant la richesse locale des diverses contrées.

La fabrication de l'acier fondu nécessite deux opérations simultanées : porter les matières à température suffisante pour qu'on puisse les couler suivant les formes désirées, — régler leurs proportions, pour qu'à l'instant même de la coulée la composition soit homogène et remplisse les conditions mécaniques exigées par l'expérience.

Trois méthodes générales opérant avec des appareils particuliers, présentant chacune des variantes plus ou moins nombreuses, permettent d'atteindre ce but ; ce sont : la conversion, l'affinage sur sole, la fusion au creuset.

La conversion utilise comme matière première la fonte liquide, dont la transformation comporte une élimination totale ou partielle des impuretés, et une élévation de température telle qu'à tout instant de l'opération la masse conserve l'état liquide. Cette épuration est effectuée par l'oxygène de l'air, dont la combinaison avec les

corps étrangers produit simultanément la modification chimique du métal, et son accroissement d'énergie thermique.

Dans l'affinage sur sole, on opère sur les produits suivants : fonte solide ou liquide, débris de fer et d'acier, minerais ou déchets de forges. L'énergie calorifique produisant la fusion est empruntée à une source extérieure au système des réactifs ; elle est due à la combustion d'un gaz effectuée au contact même des produits à réchauffer. L'opération chimique est réalisée grâce à une juste proportion des matières et à l'atmosphère qui les environne.

La fusion au creuset permet d'isoler complètement les réactifs dans une enceinte fermée; eux seuls suffisent à produire l'alliage désiré; l'action des gaz de chauffage (obtenu par un procédé quelconque) est purement calorifique, et non chimique.

DÉCOUVERTE DE BESSEMER

La découverte de Henry Bessemer, qui date de 1855, est très complexe et comporte de multiples innovations. Jusque-là, les affinages métallurgiques par l'air étaient produits, dans le four à puddler, par exemple, au moyen d'une flamme oxydante exerçant son action sur la surface des matières solides, pendant leur fusion, et sur une scorie, elle-même fortement oxygénée, lorsque le métal était passé à l'état liquide. L'oxydation par barbotage, inventée par Bessemer, supprime l'intervention de la scorie; par suite, elle réduit les pertes de métal qui étaient inévitables, vu la nécessité de saturer cette scorie, et accélère l'opération, puisqu'elle supprime l'emploi d'un réactif intermédiaire. Enfin, on diminue notablement les pertes de chaleur par transmission et rayonnement, et la puissance de production des appareils est plus considérable.

Les réactions par barbotage ont d'ailleurs franchi les limites du domaine sidérurgique, pour s'étendre à l'industrie chimique : production du chlore par le procédé Weldon, épuration de la soude, carbonatation et sulfitation des jus sucrés.

La conversion diffère néanmoins de ces opérations par un point qui en est, en quelque sorte, le principe et la raison d'être : la chaleur de combustion des impuretés est utilisée pour élever la température du métal, et pour le maintenir à l'état liquide jusqu'au mo-

ment de la coulée; elle ne suffit à remplir ce rôle que si l'affinage est rapide et fortement exothermique.

La forme de l'appareil fut également une nouveauté : pour opérer sur une sole, il eût fallu employer des tuyères réfractaires plongeant dans le bain; le matériel, compliqué, eût dû être amovible, afin de pouvoir être soustrait à l'action du métal sitôt l'affinage terminé. Bessemer employa dès l'origine une cuvette fixe, avec des tuyères débouchant à un niveau inférieur à la surface du bain, soit sur les parois, soit sur le fond lui-même; on était alors forcé de continuer le soufflage tant que le métal n'était pas évacué; des accidents, des mises hors service se produisaient souvent; on les supprima radicalement par l'emploi des cornues à renversement.

THÉORIE CHIMIQUE DE LA CONVERSION

Oxydation de la fonte. — La fonte ne peut être débarrassée complètement et économiquement des éléments étrangers qu'elle contient que s'ils sont plus oxydables que le fer; sinon, ce dernier est brûlé avant leur départ, en quantité d'autant plus forte que leurs poids respectifs sont en disproportion plus considérable. Une oxydation, qu'elle soit lente ou rapide, expulse seuls les corps moins réductibles que le fer; or, la réduction de ce dernier est précisément la plus facile; l'oxyde de carbone à lui seul amène ses oxydes à l'état métallique, tandis que le carbone et des circonstances externes particulières sont nécessaires pour réduire le phosphore, le soufre, le manganèse, le silicium.

L'oxydation n'est pas mathématiquement déterminée comme la précipitation d'un sel dissous; des équilibres successifs, une répartition instantanée de l'oxygène entre les divers combustibles, s'établissent, variant avec la température qui influe différemment sur la facilité d'oxydation des divers éléments; l'ordre suivant lequel brûlent ces éléments est néanmoins constant, et inverse de celui que présenterait leur réduction.

Le silicium s'oxyde le premier, presque complètement, et provoque une rapide élévation de température. Le manganèse ne tarde pas à l'imiter; son oxyde sature la silice naissante et forme immédiatement une scorie fluide; mais cette réaction subit bientôt un arrêt

qui subsiste tant que le bain renferme des proportions sensibles de carbone. C'est ce dernier dont l'oxydation exige la plus grande quantité d'oxygène ; son affinité pour lui, fortement accrue à ce moment grâce à la température élevée, dépasse celle des autres corps, dont la teneur se modifie peu pendant la décarburation. Après celle-ci, le bain renferme encore une partie de son manganèse, presque tout le phosphore et le soufre.

Si la proportion de phosphore est suffisamment réduite, on cesse le soufflage ; quelquefois même on conserve une partie du carbone, lorsqu'on veut obtenir finalement des aciers durs. Sinon, le soufflage, continué, porte son action sur le phosphore. L'influence des parois entre alors en jeu : pour que le phosphore puisse être éliminé, il est nécessaire que l'anhydride phosphorique ne soit pas réduit dès sa naissance, et qu'en outre son acidité soit neutralisée. Or, fer et manganèse donnent bien des phosphates, mais leur chaleur de formation est faible ; ils ne se produiraient donc qu'en petite quantité, ce qui n'en causerait pas moins un important déchet de fer. De plus, dans un appareil garni de matériaux silico-alumineux ou siliceux, l'oxyde de fer se combinerait immédiatement à la silice du garnissage, dont l'acidité est supérieure à celle de l'anhydride phosphorique. L'oxydation d'un fer phosphoreux sur garnissage siliceux se ferait donc aux dépens du fer, et non à ceux du phosphore.

Tout autre est le résultat, si, au lieu d'un revêtement siliceux, on utilise des matières réfractaires dépourvues d'action sur l'anhydride phosphorique, sur l'oxyde de fer et sur les bases dont un excès est nécessaire à la production de la scorie. Dans ce cas, l'acide phosphorique, trouvant dès sa naissance une scorie fortement basique, est immédiatement absorbé ; l'élimination du phosphore se poursuit tant qu'il en reste, ou tant que la scorie n'en est point saturée.

La base dont on a fait choix est la chaux : ses phosphates sont très stables ; si l'acide phosphorique rencontre simultanément de la chaux libre et de l'oxyde de fer, il se combine exclusivement avec la première. Le garnissage doit donc présenter, outre les propriétés réfractaires indispensables, une résistance suffisante à la corrosion par des scories très basiques, et des scories faiblement acidifiées par l'acide phosphorique. La magnésie remplit ces conditions, mais on lui substitue généralement la dolomie, dont le prix est moins élevé, et qui se comporte en pratique d'une façon très satisfaisante.

Sur un garnissage acide, l'élimination du soufre est faible, bien qu'une partie s'échappe à l'état de gaz sulfureux. On devra donc pro-

duire des fontes aussi peu sulfureuses que possible, et au besoin diminuer encore leur teneur en soufre avant d'opérer la conversion : tel est le rôle que remplit le manganèse dans le mélangeur.

Sur garnissage basique, si l'oxydation est prolongée après la décarburation, le soufre est expulsé, en partie avec les gaz, en partie avec la scorie, avec laquelle il reste combiné sous des formes variant entre le sulfure, l'oxysulfure et le sulfate calciques. La teneur du métal en soufre subit d'ailleurs une réduction d'autant plus grande qu'elle était primitivement plus considérable.

La conversion d'une fonte non phosphoreuse s'arrête donc après le départ de la majeure partie ou de la totalité du carbone. Mais, si la fonte contient une dose de phosphore supérieure à celle qu'on peut admettre dans les aciers, l'élimination du phosphore nécessite préalablement le départ complet du carbone ; elle sera en outre pratiquée en présence de chaux libre et sur garnissage magnésien. La conversion comporte par conséquent deux procédés : l'un opérant sur garnissage siliceux, tel que l'a pratiqué Bessemer en 1855, — l'autre sur garnissage basique, inventé en 1878 par Thomas et Gilschrist.

Rôle de l'oxyde de fer. — Les analyses d'échantillons pris à divers moments de la coulée prouvent que les réactions chimiques n'ont pas lieu en réalité suivant l'ordre d'oxydabilité, en raison des différences considérables entre les masses des éléments qui se trouvent en jeu. La combustion du fer commence dès le début du soufflage, produisant le sesquioxyde Fe^2O^3, immédiatement réduit par l'excès de fer en oxyde ferreux FeO, dont le bain se sature. C'est alors ce protoxyde qui devient le véritable oxydant des éléments étrangers. Grâce à sa solubilité dans le fer métallique liquide, à la rapidité de sa réduction par les éléments étrangers, à l'affinité de la scorie naissante pour les bases, on ne constate sa présence dans les fumées qui s'échappent du bec qu'à la fin même de l'opération, précisément lorsque, la quantité des réducteurs diminuant, son oxydation n'est plus contre-balancée par l'effet inverse.

L'oxyde ferreux joue dans la conversion le rôle qu'on attribue, dans la production de l'acide sulfurique, aux produits nitreux utilisés dans les chambres de plomb ; ce n'est qu'un intermédiaire, mais dont l'efficacité est grande, grâce à sa solubilité dans les réactifs, et qui, sous un faible poids, peut donner lieu à des transformations d'étendue presque illimitée.

Rôle du manganèse. — Cette solubilité de l'oxyde de fer dans le bain devrait donc donner un produit final saturé de cet oxyde. On évite cet inconvénient en employant des fontes manganésées : le manganèse réduit l'oxyde de fer lorsque ce dernier ne l'est pas par le silicium, le carbone ou le phosphore ; il protège donc le métal contre la saturation. Il est probable qu'à son tour l'oxyde manganeux est réduit par le carbone, dont l'affinité pour l'oxygène croît avec la température, car le manganèse subsiste dans le bain à l'état métallique pendant toute la décarburation, en présentant une teneur très faiblement décroissante. L'oxyde de manganèse vient donc en aide à l'oxyde de fer, mais ne subsiste pas dans le bain après soufflage.

Après élimination des éléments étrangers autres que le manganèse, ce qui reste de manganèse peut réduire une partie de l'oxyde de fer contenu dans le bain ; l'oxyde de manganèse naissant, n'étant pas soluble, se sépare et se combine à la scorie. Les fontes manganésées donnent donc au soufflage un déchet moindre en fer ; le métal qu'elles procurent est de meilleure qualité, puisqu'il se raffine spontanément après soufflage, et que, pendant l'opération, la quantité d'oxyde de fer demeure toujours inférieure à la limite de solubilité.

Les minerais de fer sont tous manganésés, mais généralement pas assez pour donner des fontes aptes à une bonne conversion. On complète la richesse du lit de fusion, au haut-fourneau, au moyen de minerais très riches : carbonates, oxydes supérieurs à 45 et 50 0/0 de manganèse (gisements d'Huelva, en Espagne ; de Poti, dans le Caucase, etc...).

A la fin du soufflage, la quantité de manganèse qui n'a pas été directement oxydé est trop faible pour pouvoir réduire complètement l'oxyde de fer, réduction d'autant moins rapide que les deux réactifs sont en proportion moindre. Une addition considérable, au haut-fourneau, de minerai manganésé serait coûteuse, et donnerait un résultat incomplet, car la majeure partie du manganèse de la fonte serait oxydée en pure perte, pendant le soufflage. Dans le procédé basique une teneur élevée en manganèse, à la fin du soufflage, entraverait la déphosphoration, même après le départ du carbone. Des additions de manganèse métallique dans le bain soufflé sont donc nécessaires pour en compléter la désoxydation : elles sont effectuées sous forme de divers alliages, dont les teneurs en manganèse et carbone permettent de fabriquer, par synthèse, avec un bain liquide de fer fondu presque pur, des aciers de telle et telle composition. Le rôle du manganèse dans le raffinage ne fut pas

connu dès l'origine du procédé Bessemer; on ne s'en rendit compte que lors de l'insuccès auquel on se heurta dans le traitement par conversion, — à l'exemple des fontes suédoises, — des fontes hématites anglaises peu manganésées.

En tant qu'addition finale, le manganèse peut être remplacé par un désoxydant analogue, silicium, aluminium, ou même carbone, dont le choix doit être tel qu'un excès, toujours indispensable pour une réaction complète, ne nuise pas à la qualité du métal, et lui communique en outre des propriétés avantageuses.

THÉORIE THERMIQUE DE LA CONVERSION

Chaleur de combustion des constituants de la fonte. — La seconde idée originale sur laquelle repose la conversion consiste à utiliser la chaleur de combustion des impuretés pour élever la température du bain et lui procurer la fluidité nécessaire. Pendant l'opération, la fonte liquide éprouve une élévation de température de 500°, en chiffre rond, sans qu'aucune source thermique extérieure soit intervenue.

Les quantités de chaleur dégagées par l'oxydation des divers éléments présentent des différences considérables :

CORPS OXYDÉS	POIDS D'OXYGÈNE NÉCESSAIRE POUR LA COMBUSTION de 1 kilogramme	COMPOSÉ FORMÉ	POIDS DU COMPOSÉ	CALORIES DÉGAGÉES POUR 1 KILOGR. du corps oxydé
H	8,000	H^2O gazeux	9,000	28.780
C......	1,333	CO	2,333	2.380
C......	2,666	CO^2	3,666	8.080
CO	0,571	CO^2	1,571	2.440
Fe.....	0,286	FeO	1,286	1.350
Fe.....	0,380	Fe^3O^4	1,380	1.580
Fe.....	0,428	Fe^2O^3	1,428	2.020
Si.....	1,143	SiO^2	2,143	7.830
Mn	0,292	MnO	1,292	1.730
Mn	0,387	Mn^3O^4	1,387	1.950
Ph	1,289	P^2O^5	2,289	5.760
S......	0,998	SO^2	1,998	2.220

Le silicium, le phosphore, le carbone présentent à première vue la combustion la plus exothermique. Mais le métal ne profite pas de

la totalité de la chaleur dégagée : une partie de celle-ci est emportée par les gaz, dont la température est sensiblement égale à celle du bain ; le partage est d'autant plus défavorable pour le fer que la combustion de l'élément considéré exige une plus grande quantité d'air : le carbone, par exemple, élève peu la température. La chaleur véritablement utilisée est donc bien différente de la chaleur totale de combustion. La valeur thermogène relative des éléments de la fonte peut être représentée par l'accroissement théorique de température que donne à un bain de fer la combustion de 1 0/0 de cet élément, combustion supposée exclusive, complète, et sans excès d'air. Elle variera d'ailleurs avec la température initiale du métal, en décroissant lorsque cette température s'élève, jusqu'à devenir même sensiblement nulle.

Variations de température produites par la conversion. — Le calcul de l'élévation de température du bain s'effectue en égalant la chaleur de combustion à la somme des calories absorbées par les gaz et le bain.

Soient :

P_0, le poids du bain avant soufflage ;

T_0, sa température ;

C_0, sa chaleur spécifique à T_0° ;

P_1, C_1, T_1, les mêmes valeurs après soufflage ;

p_0, le poids d'air insufflé ;

t_0, sa température ;

c_0, sa chaleur spécifique à t_0° ;

p_1, le poids des gaz sortis de la cornue ;

t_1, leur température moyenne pendant la durée du soufflage ;

c_1, leur chaleur spécifique moyenne ;

Q, le nombre de calories dégagées par la combustion ; elles ont élevé la température du bain de T_0 à T_1, celle des gaz de t_0 à t_1 :

$$Q = (P_1C_1T_1 - P_0C_0T_0) + (p_1c_1t_1 - p_0c_0t_0).$$

Comme le calcul est approximatif, on peut supposer $t_0 = 0$.

La composition de l'air en poids est :

Oxygène	23,13	pour cent.
Azote	76,87	—

A. Si le produit de la combustion est un corps solide (ce qui a lieu pour Si, Ph, Mn, Fe) :

$$P_1 = P_0 + 0{,}2313 p_0,$$
$$p_1 = 0{,}7687 p_0,$$
$$C_1 = C_0, \text{ sensiblement},$$
$$t_1 = \frac{T_0 + T_1}{2}, \text{ sensiblement},$$

d'où

$$Q = (P_0 + 0{,}2313 p_0)\, C_1 T_1 + 0{,}7687 p_0 c_1 \frac{T_0 + T_1}{2} - P_0 C_0 T_0.$$

B. Si le produit de la combustion est gazeux (cas du carbone) :

$$P_1 = 0{,}99 P_0,$$
$$p_1 = p_0 + 0{,}01 P_0,$$
$$C_1 = C_0, \text{ sensiblement},$$
$$t_1 = \frac{T_0 + T_1}{2}, \text{ sensiblement},$$

d'où

$$Q = 0{,}99 P_0 C_1 T_1 + (p_0 + 0{,}01 P_0)\, c_1 \frac{T_0 + T_1}{2} - P_0 C_0 T_0.$$

L'élévation de température ($T_1 - T_0$) diminue lorsque T_0 augmente ; par suite, elle doit être calculée pour différentes températures T_0, lorsque la combustion du corps est susceptible de s'effectuer à diverses températures. Ainsi, dans le procédé acide, le carbone brûle à une température voisine de la valeur finale ; — dans le procédé basique, sa combustion se produit à une température très peu supérieure à la température initiale.

Le calcul effectué pour $T_0 = 1.300°$ indique quelles sont les oxydations que l'on doit particulièrement rechercher au point de vue thermique.

ÉLÉVATION DE LA TEMPÉRATURE D'UN BAIN DE FONTE PAR COMBUSTION DE 1 0/0 DE SES ÉLÉMENTS

OXYDATION DE	Q	C_0	T_0	p_0	c_0	P_1	p_1	T_1-T_0
Si en SiO^2	7.830	0,19	1.300	5,026	0,25	101,143	3,883	309
Ph en P^2O^5	5.760	»	»	5,556	»	101,289	4,267	209
Mn en MnO	1.730	»	»	0,966	»	100,292	0,674	64
Fe en FeO	1.350	»	»	0,947	»	100,286	0,661	45
C en CO	2.380	»	»	5,747	»	99,00	6,747	22
C en CO	2.380	»	1.500	»	»	»	»	3

Pour le carbone, (T_1-T_0) devient théoriquement nul vers 1.650°; pratiquement, la température à laquelle le gaz emporte toute la chaleur d'oxydation est inférieure à 1.650°, de sorte que l'opération Bessemer acide présente le cas, unique en sidérurgie, d'un combustible brûlant énergiquement en abaissant la température de l'espace où il brûle. Il est à remarquer que, dans la conversion, la combustion du carbone est incomplète, puisqu'il se transforme uniquement en oxyde de carbone; la transformation en anhydride carbonique est, au contraire, fortement exothermique.

Les chiffres précédents ne tiennent pas compte des pertes par excès d'air, par transmission et rayonnement des parois, pertes sensiblement constantes pendant la durée d'une opération, car la température des parois de la cornue varie peu; leur influence aura d'autant plus d'action sur l'accroissement réel (T_1-T_0) que cette différence sera théoriquement plus faible. Aussi ne peut-on réellement considérer comme éléments producteurs de chaleur, dans la conversion, que le silicium, le phosphore et le manganèse.

Les réactions chimiques de la conversion nécessitent l'existence du manganèse dans les fontes, dans la proportion de 1 à 2 0/0; il aura donc, outre son influence sur l'oxydation du fer, un effet notable sur l'élévation de température du bain. Il serait cependant un combustible bien insuffisant.

Rôle du silicium. — Le silicium, dont l'oxydation dégage le plus de chaleur, sera de toute utilité dans la fonte, tant que d'autres circonstances n'en exigeront pas l'exclusion totale ou partielle. Or, pour les fontes non phosphoreuses, l'affinage peut être exécuté sur un garnissage siliceux ou silicoalumineux, puisque la seule condition qu'il ait à remplir est d'être suffisamment réfractaire; la silice produite par la combustion du silicium sera sans influence sur le revêtement, d'autant plus qu'elle sera toujours saturée par les oxydes de fer et de manganèse. C'est donc le silicium qui sera la principale source de chaleur interne des fontes non phosphoreuses. Il est très facile d'introduire dans la fonte, au haut-fourneau, du silicium en proportion convenable : les gangues du minerai, les cendres du coke apportent la silice, qu'une température élevée et un vent très chaud réduisent aisément.

Rôle du phosphore. — Les fontes phosphoreuses ne peuvent être complètement épurées que sur un garnissage basique, en présence

d'une scorie fortement calcaire ; si elles étaient très siliceuses, leur oxydation entraînerait la production de silice qui, se combinant à la chaux libre, en nécessiterait une consommation considérable, vu l'obligation de maintenir une basicité suffisante. En outre, la chaux ne serait pas seule attaquée : le silicium brûle au début de l'oxydation, c'est-à-dire précisément quand la chaux, ajoutée froide et solide, présente peu d'aptitude à se combiner rapidement avec la silice naissante ; au même instant, les parois du garnissage, échauffées, scorifiées par les opérations précédentes, sont au contraire pour la silice une proie facile.

La conversion d'une fonte très silicieuse sur garnissage basique est donc désavantageuse ; c'est pourquoi les fontes phosphoreuses destinées à être soufflées doivent être des fontes blanches. Le phosphore, après avoir été un obstacle à leur emploi, devient alors indispensable, car il fournira la majeure partie des calories absorbées par le bain. Ainsi la fonte, après avoir été trop phosphoreuse pour pouvoir être traitée au convertisseur acide, ne l'est pas assez pour la conversion basique ; tout en la maintenant blanche, on devra l'enrichir en phosphore ; on emploie dans ce but, au haut-fourneau, des minerais très phosphoreux, des craies phosphatées, fréquemment des scories de déphosphoration provenant de la conversion ou de l'affinage sur sole, ainsi que des scories d'aciérie renfermant des débris de métal, provenant du nettoyage des poches ou des convertisseurs.

L'affinage par conversion semble au premier abord devoir être économique, puisqu'il évite l'emploi d'un combustible extérieur. Cette économie n'est qu'apparente, car les éléments thermogènes, Mn, Si, Ph, n'ont été introduits dans la fonte qu'au prix d'une augmentation de consommation de coke au haut-fourneau.

La chaleur de formation de la silice, ou de l'anhydride phosphorique, positive au convertisseur, a été négative au fourneau, lors de leur réduction. Un transport, une transformation d'énergie se sont effectués entre le creuset du haut-fourneau et la cornue, analogue à un transport d'énergie électrique ; l'énergie calorifique dégagée par la combustion du coke prend la forme d'énergie chimique potentielle, dans le silicium et le phosphore ; on la récupère intégralement lors de la conversion.

APPAREILS EMPLOYÉS POUR LA CONVERSION

Premier convertisseur fixe de Bessemer. — La forme primitive du four destiné à la conversion fut celle d'une cuve cylindrique, analogue à un large cubilot peu élevé, fermée par une coupole. Deux ouvertures de grandes dimensions sont pratiquées sur ce four : l'une, au sommet de la coupole, légèrement oblique, sert de cheminée aux fumées ; l'autre, latérale, porte un bassin dans lequel se verse la fonte liquide. L'évacuation de l'acier s'effectue par un trou de coulée, situé comme dans un cubilot, au point bas de la sole, et bouché pendant l'opération au moyen d'un tampon d'argile. Le soufflage se fait au niveau même de la sole par une couronne de tuyères débouchant extérieurement dans une boîte à vent. Ces tuyères sont des briques réfractaires percées d'un trou rond ; elles sont placées dans des alvéoles ménagées lors de la construction du garnissage ; le joint est obtenu par un coulis réfractaire, et des collerettes en fonte les calent en arrière ; elles sont mises en place avant l'emploi du four par des regards pratiqués devant chacune d'elles dans la boîte à vent, et que des lunettes obturent pendant le soufflage. Afin d'imprimer au métal un mouvement giratoire qui favorise la rapidité des réactions, les tuyères sont, non convergentes, mais tangentes à un petit cercle concentrique à la paroi de la cuve.

Le cubilot est fixe, de sorte qu'avant d'introduire la fonte il est indispensable de souffler sous pleine pression, afin que le métal n'envahisse pas la boîte à vent par les tuyères. Dès que l'opération est terminée, on procède à la coulée avant de cesser le soufflage ; l'action du vent et par suite l'oxydation sont donc constantes durant le séjour du métal dans le four ; on ne peut ni les modifier, ni les supprimer.

La nécessité même du passage du vent, la fixité absolue sont les inconvénients de cet appareil ; ils occasionnent tantôt des coulées manquées par suite d'un excès de soufflage, tantôt une irruption de l'acier dans la boîte à vent par diminution de la pression de l'air, tantôt des *loups* restant dans l'appareil par suite de retards dans le débouchage du trou de coulée. Enfin, la forme du four, qui peut convenir pour des conversions ne comportant point de raffinage par additions spéciales, est inapplicable lorsqu'on désire soustraire la

charge à l'action oxydante, pendant une partie de l'opération. Dans ce cas, le métal doit être contenu dans une zone autre que la zone d'injection d'air, pour ne point s'écouler par les tuyères lors de l'arrêt du soufflage; une cuvette mobile est donc nécessaire : le four, dans sa position de repos, maintiendra le bain hors de toute influence oxydante, et, dans la position de marche, le métal reposera sur un fond percé des trous d'injection d'air. La forme générale du convertisseur a été employée par Bessemer dès 1858 ; elle n'a subi, depuis, que des modifications de détail.

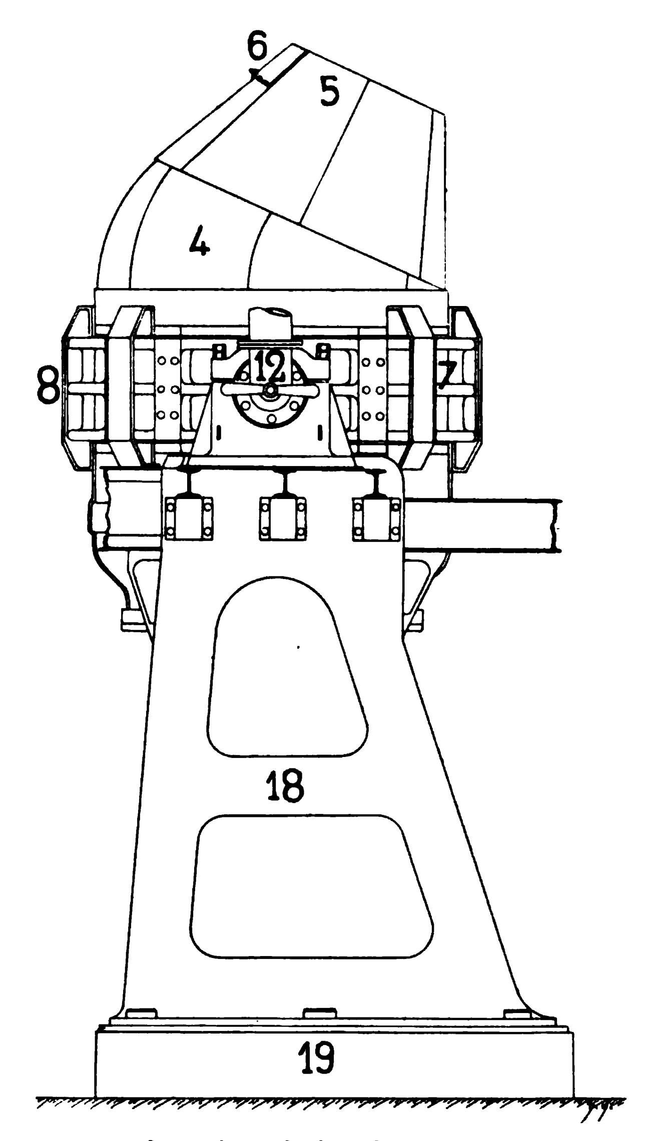
Convertisseurs oscillants. — L'appareil actuel est une cuve suspendue par deux tourillons situés un peu au-dessous de son centre de gravité. La moitié inférieure est cylindrique, ou légèrement conique vers la base ; sa hauteur est sensiblement égale à son diamètre ; la partie supérieure est un tronc de cône, ayant ou non même axe que la partie cylindrique, réuni à celle-ci par une zone sphérique. L'unique ouverture supérieure sert au chargement de la fonte, à la coulée de l'acier, au départ des fumées.

Le convertisseur est constitué par une cuirasse en tôle, fortement armée, à l'intérieur de laquelle on maçonne un garnissage réfractaire ; quand celui-ci est usé, on le répare ou on le refait entièrement sur place, sans avoir à modifier l'armature ; comme il ne supporte aucun effort mécanique, on ne tient compte, dans la détermination de son épaisseur, que de l'usure qu'il subit au contact du métal et de la scorie.

Le fond de la cuve n'est pas une sole pleine : elle est percée de nombreux trous de faible diamètre, symétriquement répartis sur toute la surface, et constituant autant de buses d'injection d'air. Pratiqués dans une brique monolithe de forte épaisseur, ils débouchent postérieurement dans une boîte à vent réunie par un tuyau à l'un des tourillons creux de la cuve ; l'air comprimé arrive par une conduite fixée dans le prolongement de ce tourillon, sur lequel une boîte garnie d'amiante forme joint étanche.

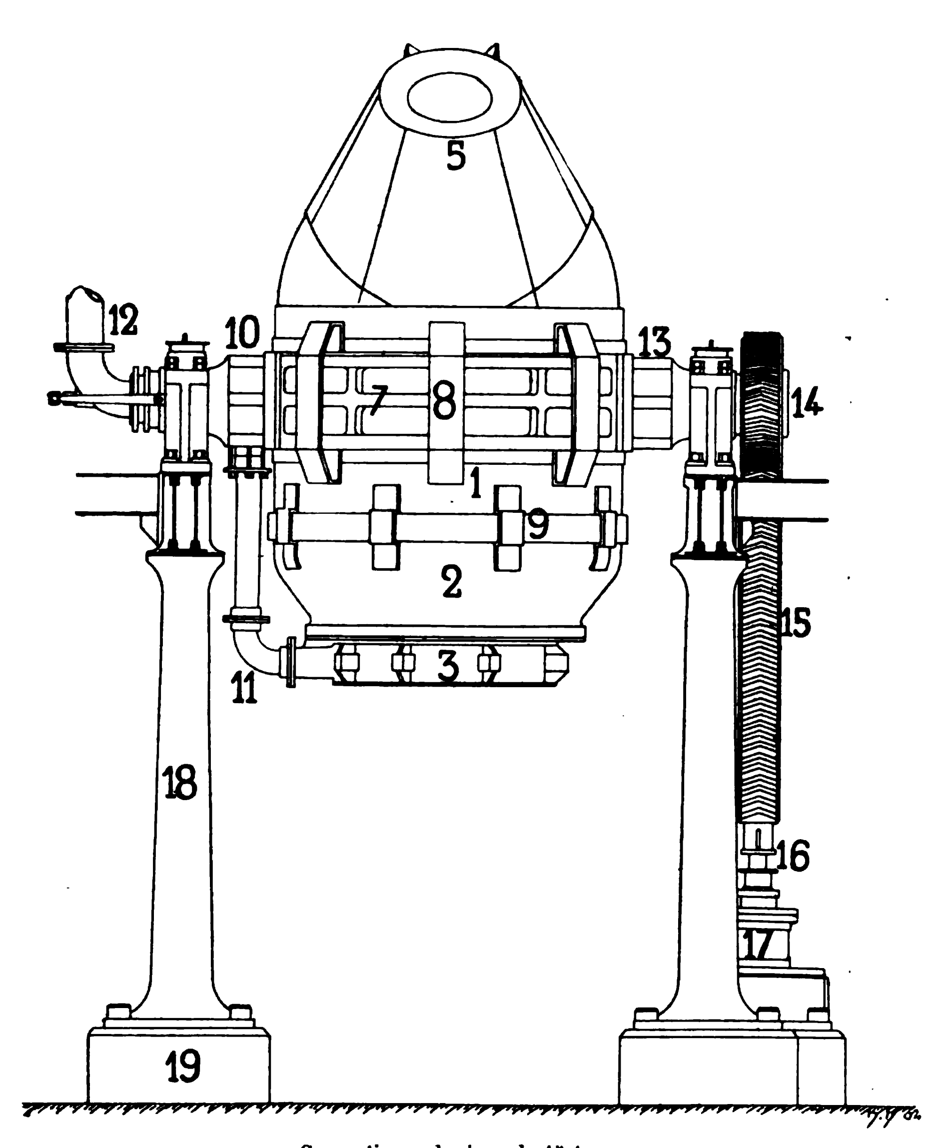
La manœuvre du convertisseur est exécutée par l'intermédiaire de l'autre tourillon, dont l'extrémité hors coussinet porte un pignon denté ; une crémaillère guidée engrène avec celui-ci ; elle est mue par la tige d'un piston de cylindre hydraulique, dont la course peut imprimer à la cornue une rotation un peu moindre que 360°.

Il convient de ne pas reporter sur les tourillons les dilatations et contractions qui surviennent pendant le service ; à cet effet, l'enve-



Convertisseur basique de 15 tonnes.

1. Partie cylindrique. — 2. Partie inférieure conique. — 3. Boîte à vent. — 4. Panse. — 5. Bec. — 6. Tôle bavette. — 7. Ceinture en acier. — 8. Agrafes de la ceinture. — 9. Agrafes de la partie inférieure. — 10. Tourillon à vent. — 11. Tuyau de vent. — 12. Conduite de vent fixe. — 13. Tourillon de manœuvre. — 14. Pignon de commande. — 15. Crémaillère. — 16. Tige de piston du



Convertisseur basique de 15 tonnes.

cylindre hydraulique. — 17. Cylindre hydraulique. — 18. Supports des paliers. — 19. Massif bétoné.
Diamètre extérieur de la cornue, 3m,250.
Hauteur totale de la cornue, 5m,80.
Jünkeratker Gewerkschaft, *Jünkerath* (*Allemagne*).

loppe en tôle est suspendue sur une ceinture annulaire en fonte ou en acier, portant elle-même les tourillons ; la réunion de la ceinture et de la cuirasse est faite par des cales servant de chemin de glissement pour les mouvements de l'enveloppe.

L'ouverture supérieure, ou bec, est centrée sur l'axe de la cuve, ou désaxée par rapport à lui. Dans la première disposition, actuellement assez rare, et réservée au procédé acide qui donne peu de projections, les fumées sortent verticalement ; les parcelles métalliques ou scorifiées qu'elles entraînent rejaillissent en tous sens. Elle permet, d'ailleurs, de charger le convertisseur par l'avant ou l'arrière, lorsqu'il est horizontal, de sorte qu'une des faces de l'atelier peut être réservée au chargement de la fonte et l'autre à la coulée de l'acier.

La plupart des convertisseurs possèdent un bec excentré, d'où le nom de cornue qu'on leur applique fréquemment. On ne peut ainsi charger et vider que d'un seul côté, mais on rejette à l'extérieur, et non sur l'atelier même, les fumées et les projections. Dans ce cas, pour une capacité donnée, l'appareil est plus petit que dans l'autre, car la panse, ou portion supérieure opposée à l'excentricité, a une contenance plus grande que celle d'un convertisseur à bec concentrique de mêmes dimensions. L'excentricité est telle que la génératrice médiane de la surface conique, du côté du dos, soit verticale lorsque la cornue occupe la position de soufflage.

Le garnissage de la partie inférieure, ou cuve, est indépendant de celui du fond perforé ; ce dernier, malgré sa forte épaisseur, s'use rapidement, en raison de sa forme et des violents efforts auxquels il est soumis ; il doit être remplacé avant que l'usure du garnissage de la cuve et de la panse soit complète. La pose d'un fond neuf s'effectue pendant que le convertisseur est encore chaud, sans qu'il soit nécessaire d'y pénétrer ; au début, elle nécessitait le remplacement du fond et de la boîte à vent, qui constituaient ensemble le « bottom » ; aujourd'hui elle se réduit à la pose de la seule brique monolithe portant les busettes d'injection.

L'introduction du vent se fait presque toujours par le fond même du convertisseur ; dans certains cas, on a repris la disposition de l'ancien cubilot suédois à injection latérale et tangentielle, sans qu'il en soit résulté de sérieux avantages.

Le convertisseur, grâce au cylindre hydraulique dont il est muni, est susceptible de prendre telle inclinaison que l'on désire et d'être immobilisé dans une position quelconque. Le chargement de la

chaux, qui n'a lieu que dans le procédé basique, se fait lorsque le convertisseur est un peu incliné vers l'avant, le plan de l'orifice du bec étant horizontal, la génératrice médiane de la surface conique de la panse sensiblement verticale; celui de la fonte, des additions finales solides ou liquides, s'opère quand l'appareil est presque horizontal, le fond légèrement relevé, de manière à utiliser toute la capacité de la panse.

Dans la position normale de soufflage, l'axe de la cuve est vertical, le fond horizontal; le nettoyage, la vidange des résidus de la coulée exigent que la cornue soit retournée de 180° par rapport à la position de soufflage, le bec en bas. Pour les réparations du fond ou des parois du garnissage, particulièrement du dos, on renverse la cornue complètement en arrière, la génératrice du dos étant presque horizontale.

ÉTUDE D'UNE OPÉRATION THOMAS

Chaque aciérie possède un régime de marche particulier, celui qui entraîne le moins de dépenses, étant donnés ses conditions de fonctionnement et le matériel dont elle dispose. La conversion nécessite, pour satisfaire à ce régime, une fonte de composition convenable, variant avec la qualité du métal à fabriquer et la rapidité des opérations, et maintenue plus ou moins chaude, suivant le cas. L'expérience indique quelle est la teneur en corps étrangers la plus convenable pour chaque fabrication. La suite des réactions n'est pas modifiée par ces changements; on peut donc prendre, comme exemple d'étude, une fonte de composition moyenne.

La présence de la chaux rend le procédé basique plus compliqué que le procédé acide; l'épuration comporte, outre l'expulsion des éléments des fontes Bessemer acides, celle du phosphore pendant la période dite de *sursoufflage*. Nous commencerons donc par l'étude de l'opération basique, en prenant l'exemple suivant.

Composition de la charge. — Soit un convertisseur de dix tonnes, en marche normale, chauffé par les opérations précédentes; la charge comprend :

Fonte Thomas..................	10.000 kilogrammes.
Chaux vive.....................	1.325 —

La fonte a pour composition :

	Pour 100
C	3,200
Si	0,550
Ph	2,050
S	0,045
Mn	1,500
Fe	92,655

L'analyse de la chaux indique :

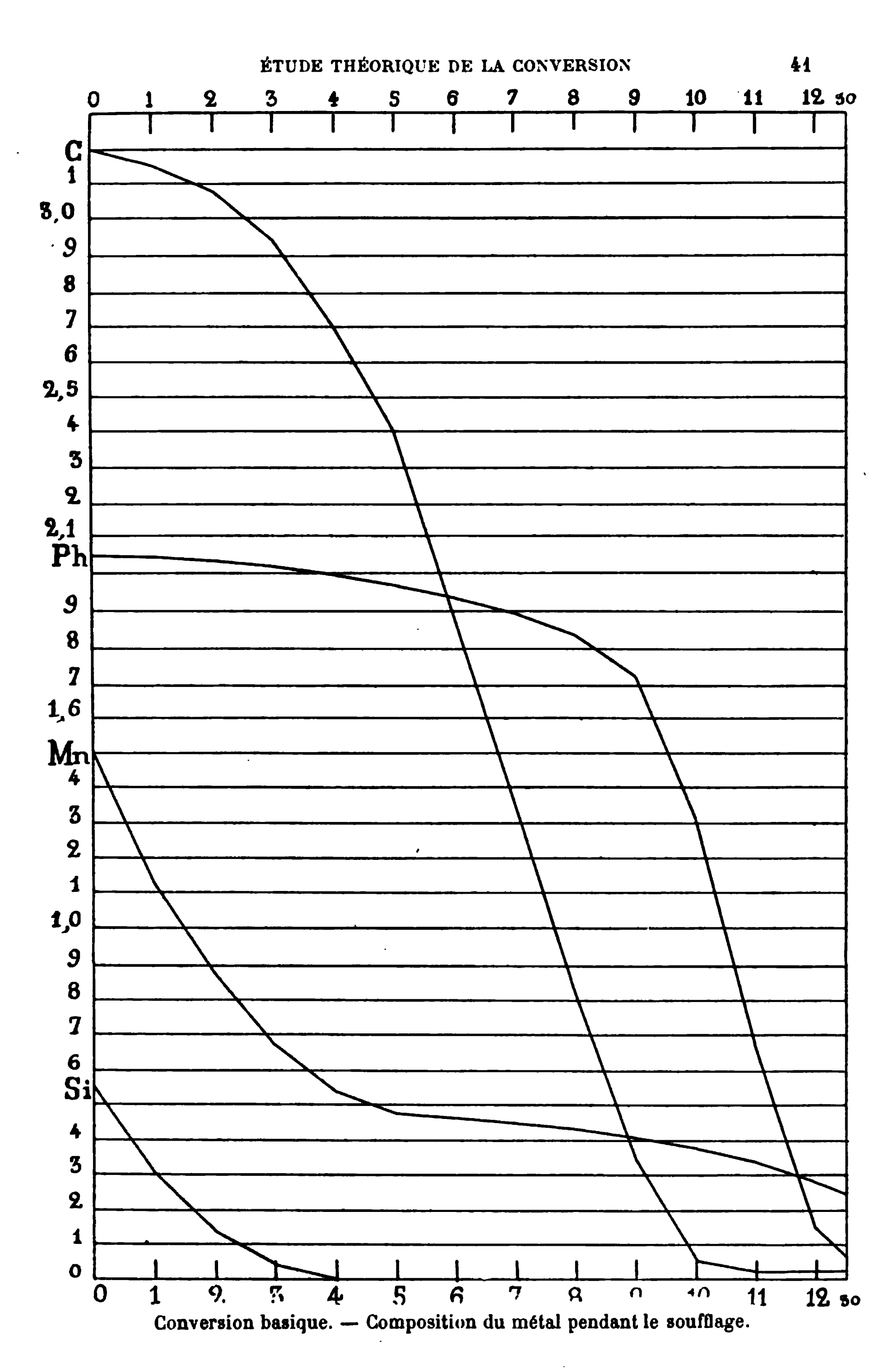
	Pour 100
SiO^2	0,55
Al^2O^3	0,75
Fe^2O^3	0,70
MgO	Traces
CaO	93,05
perte au feu { CO^2	3,20
perte au feu { H^2O	1,75

La charge a été soufflée pendant douze minutes et demie : la texture de l'éprouvette prise à ce moment indique que l'opération est terminée ; à ce moment aussi, la composition du métal est :

	Pour 100
C	0,030
Si	Traces
Ph	0,060
S	0,040
Mn	0,220
FeO	0,780
Fe	98,870

Le bain est alors désoxydé et recarburé par des additions manganésées.

La détermination mathématique de la suite et de l'intensité des réactions au convertisseur est impossible ; le bain final, et plus encore ses états intermédiaires, sont fonctions des compositions initiales de la fonte et de la chaux, des températures du convertisseur et de la charge, de la rapidité de l'affinage. Dans ces conditions, les réactions sont complexes, diverses combinaisons se produisent simultanément ; l'analyse ne permet pas d'obtenir la composition exacte à un instant donné, car la prise de l'éprouvette, qui ne peut se faire qu'après abaissement de la cornue, modifie inévitablement



Conversion basique. — Composition du métal pendant le soufflage.

l'ordre des réactions ultérieures. Seule l'étude de nombreuses charges analogues, ayant mêmes caractéristiques, par des analyses faites à divers instants de l'opération, peut donner une indication à peu près certaine sur la marche des phénomènes.

En raison du grand excès de fer, l'oxygène se porte d'abord sur ce métal, et forme finalement l'oxyde FeO, qui réagit sur les réducteurs; à la fin de l'opération, l'action des réducteurs diminuant avec leur proportion relative, des fumées brunes d'oxyde de fer apparaissent: c'est alors le sesquioxyde Fe^2O^3 qui est visible à la sortie du bec, produit d'une oxydation secondaire du protoxyde par l'excès d'air.

La pression dans la boîte à vent augmente pendant la seconde moitié du soufflage : le bain, pauvre en carbone, est bien moins fusible que la fonte; il ne se fige pas, cependant, grâce à la fluidité que lui procure la présence du phosphore; la combustion du carbone, donnant un produit gazeux encore combustible qui se combine avec l'excès d'air, fait augmenter la pression intérieure dans la cornue : la longueur, le bruit de la flamme en témoignent. L'air injecté doit être, pour ces deux motifs, comprimé davantage, en même temps que la soufflerie envoie un volume plus considérable en accélérant sa marche.

Composition du bain final. — Le bain final est composé de métal et de scorie. Le premier renferme, outre le fer, une partie des éléments étrangers, Si, Mn, C, Ph, ayant échappé à l'oxydation; une portion du soufre a été brûlée, une autre se trouve dans la scorie, le reste subsiste dans le métal. La scorie renferme la silice, l'anhydride phosphorique, les oxydes de fer et de manganèse, combinés à la chaux et aux éléments corrodés du garnissage.

Les fumées du bec comprennent l'azote, l'oxygène en excès, les produits de la combustion du carbone et du soufre, tenant en suspension, à la fin de l'opération, de l'oxyde de fer en particules très divisées.

A. *Métal.* — Le poids initial du métal était 10.000 kilogrammes; soit x son poids final; la perte due au soufflage est :

$$10.000 - x.$$

L'oxydation des divers éléments s'est portée sur des poids de :

Silicium :

$$10.000 \times \frac{0,55}{100} - \text{traces.}$$

Manganèse :

$$10.000 \times \frac{1,50}{100} - x \times \frac{0,22}{100}.$$

Carbone :

$$10.000 \times \frac{3,20}{100} - x \times \frac{0,030}{100}.$$

Phosphore :

$$10.000 \times \frac{2,05}{100} - x \times \frac{0,060}{100}.$$

Fer. — Oxyde dissous dans le métal :

$$x \times \frac{0,78}{100} \times \frac{55,9}{71,9}.$$

Fer. — Oxyde passé dans la scorie (environ 240 kilogrammes) :

$$240 \times \frac{55,9}{71,9}.$$

Fer. — Oxyde entraîné en fumées (environ 35 kilogrammes) :

$$35 \times \frac{55,9}{71,9}.$$

Les deux chiffres 240 et 35 ont été fournis par des analyses de scories et de gaz. La perte due au soufflage est égale à la somme des poids oxydés des divers éléments ; on déduit de cette équation :

$$x = 9.029 \text{ kilogrammes.}$$

Poids brûlé de silicium		55k,0	
—	manganèse	130 ,1	
—	carbone	317 ,4	
—	phosphore	199 ,6	
—	fer en FeO dissous	55 ,0	268k,9
—	— dans la scorie	186 ,6	
—	— dans les fumées	27 ,3	

Le poids du bain métallique, y compris FeO dissous, est :

$$9.029 + 55 \times \frac{71,9}{55,9} = 9.100 \text{ kilogrammes.}$$

B. *Scorie.* — La corrosion du garnissage correspond en moyenne à 180 kilogrammes par opération ; la composition du revêtement calco-magnésien est :

	Pour 100
MgO	35,5
CaO	55,3
SiO^2	3,2
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$	2,5
C (du goudron)	3,5

Ces éléments se combinent avec ceux qui proviennent de la chaux ou du métal, et donnent, non compris le soufre, 2.414^{kg},7 de scories.

ÉLÉMENTS	PROVENANCE			POIDS TOTAL	COMPOSITION CENTÉSIMALE
	MÉTAUX	CHAUX	GARNISSAGE		
SiO^2	117^k,8	7^k,3	5^k,7	130^k,8	5,42
P^2O^5	457 ,1			457 ,1	18,92
Al^2O^3		9 ,9	2 ,3	12 ,2	0,51
MnO	168 ,1			168 ,1	6,96
FeO	239 ,9	8 ,3	1 ,9	250 ,1	10,35
CaO		1.233 ,0	99 ,5	1.332 ,5	55,17
MgO			63 ,9	63 ,9	2,65
	982^k,9	1.258^k,5	173^k,3	2.414^k,7	99,98

Il est impossible de prendre, dans le courant de l'opération, un échantillon de scorie correspondant à un échantillon de métal à tel et tel instant ; la chaux en effet se scorifie lentement ; elle absorbe à l'état solide l'anhydride phosphorique, dont elle s'imprègne avant de prendre l'état liquide. Par suite des projections, il est évident qu'on ne peut recueillir 2.415 kilogrammes de scories ; en outre, dès le début de l'opération, la chaux pulvérulente est entraînée par le vent, de sorte que la teneur finale dans la scorie n'est que 49-53 0/0.

TEMPS en MINUTES	POIDS OXYDÉS PAR LE SOUFFLAGE						POIDS du MÉTAL	POIDS DE SCORIES PROVENANT DU MÉTAL					PERTE AU FEU de la chaux	POIDS DE GARNISSAGE dissous	POIDS total de la SCORIE
	Si	Mn	C	Ph	Fe	TOTAL		SiO^2	P^2O^5	FeO	MnO	TOTAL			
0							10.000								1.325
1	25,0	46,0	5,0		50	126	9.915	54,0		10,0	58,5	122,5	5,0	13,0	1.455
2	17,0	31,0	6,5	1,0	15	70,5	9.850	35,5	2,5	11,5	40,5	90,0	5,0	10,0	1.550
3	9,0	17,5	17,0	2,5	10	56	9.795	19,5	5,5	13,0	23,0	61,0	5,0	8,0	1.615
4	4,0	9,0	28,0	2,5	10	53,5	9.740	8,5	6,5	14,5	12,0	41,5	6,0	5,0	1.655
5		5,0	33,5	3,0	10	51,5	9.685		7,0	16,5	6,0	29,5	6,0	4,0	1.685
6		1,5	50,0	3,5	10	65	9.615		8,0	19,0	2,0	29,0	6,5	4,0	1.715
7		1,5	51,5	4,0	10	67	9.545		9,0	20,5	2,0	31,5	7,0	5,0	1.750
8		1,0	53,0	7,0	10	71	9.465		16,5	24,0	1,5	42,0	7,5	6,0	1.790
9		1,5	44,5	17,0	15	78	9.380		38,5	27,0	2,0	67,5	8,0	9,0	1.860
10		3,0	25,0	39,5	20	87,5	9.295		90,0	28,5	3,5	122,0	9,0	18,0	1.980
11		4,0	3,0	62,5	30	99,5	9.205		143,5	26,5	5,0	175,0		28,0	2.180
12		6,0		48,5	45	99,5	9.130		111,0	17,5	8,0	136,5		37,0	2.355
12,5		3,0		8,0	34	45	9.100		19,0	11,0	4,0	34,0		26,4	2.415
	55,0	130,1	317,4	199,6	268,9	971,0		117,8	457,1	239,9	168,1	983,0	65	173,4	

Poids d'oxygène nécessaire pour l'opération. — L'oxydation du métal étant effectuée à haute température en présence d'un excès de fer, produit de l'oxyde de carbone; l'anhydride carbonique qui prend naissance près des tuyères est réduit par le fer, si la hauteur du bain est suffisante.

La quantité d'oxygène employé à la combustion du soufre, à celle du carbone existant dans le garnissage, est négligeable. On en déduit que le poids d'oxygène théoriquement nécessaire pour la conversion est 858kg,5 :

ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES			POIDS D'OXYGÈNE NÉCESSAIRE	
CORPS	CORPS PRODUITS	POIDS	POUR 1 KILO	TOTAL
Si	SiO^2	55,0	$\frac{32}{28}$	62,8
C	CO	317,4	$\frac{16}{12}$	423,2
Ph	P^2O^5	199,6	$\frac{80}{62}$	257,5
Mn	MnO	130,1	$\frac{16}{54,8}$	38,0
Fe	FeO	268,9	$\frac{16}{55,9}$	77,0
		971,0		858,5

L'anhydride carbonique provenant de la chaux incuite est dissocié en oxyde de carbone et oxygène; le sesquioxyde de fer existant dans la chaux ou le garnissage est réduit en protoxyde. Enfin l'humidité de la chaux et l'air humide introduisent de la vapeur d'eau, qui, décomposée par le fer, joue le rôle d'un oxydant. Ces dernières réactions, décarbonatation de la chaux incuite, dissociation de CO^2 et H^2O, sont très endothermiques, et refroidissent considérablement le bain quand leur intensité s'accroît.

L'analyse des gaz pris au bec de la cornue révèle la présence d'oxygène libre et d'anhydride carbonique; malgré la vive affinité du fer pour l'oxygène, une partie de ce gaz traverse le bain sans réagir, particulièrement au début de l'opération, lorsque la température est relativement peu élevée. Il se combine partiellement, à la surface du bain, avec l'oxyde de carbone, et donne l'anhydride car-

bonique que nous venons de signaler. La proportion d'oxygène inactif est d'environ 4,5 0/0 de l'oxygène insufflé.

L'affinage est donc effectué : par la dissociation de la vapeur d'eau provenant de la chaux et de l'air; — la décomposition du sesquioxyde de fer de la chaux et du garnissage (en quantité négligeable); — la dissociation de la vapeur d'eau provenant de la chaux et de l'air; — enfin pour la majeure partie par l'oxygène de l'air insufflé.

En tenant compte de l'oxygène qui s'échappe sans avoir réagi, le poids total de ce gaz que l'on doit fournir est :

$$858,5 \times \frac{1}{0,955} = 899 \text{ kilogrammes.}$$

Or, l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau contenue dans la chaux ont fourni comme oxygène :

$$1.325 \left(\frac{3,20}{100} \cdot \frac{16}{44} + \frac{1,75}{100} \cdot \frac{16}{18}\right) = 36 \text{ kilogrammes;}$$

L'air a donc apporté : 863 kilogrammes d'oxygène, de l'azote, une proportion négligeable de CO^2, et une quantité de vapeur d'eau qui possède une grande influence au point de vue thermique.

Poids d'air nécessaire. — L'air est aspiré à + 20°, au degré hygrométrique 0,70; le poids de 1 mètre cube d'air sec dans les conditions normales de température et de pression est $1^{kg},293$; — le coefficient de dilatation des gaz est 0,00367 ; — la densité de la vapeur d'eau, 0,622; sa tension maxima à 20°, 17 millimètres.

Le rapport des volumes d'oxygène et d'azote contenus dans l'air est $\frac{21}{79}$; les poids spécifiques respectifs de ces gaz sont : $1^{kg},430$ et $1^{kg},263$; la composition élémentaire d'un mètre cube d'air humide à 20° est par suite :

	grammes
H^2O	9,03
O	278,04
Az	911,36
	1.198,43

ce qui correspond à :

	grammes
O	286,06
H	1,01
Az	911,36

Le volume d'air correspondant aux 863 kilogrammes d'oxygène est :

$$\frac{863}{0,286} = 3.017 \text{ m. c.};$$

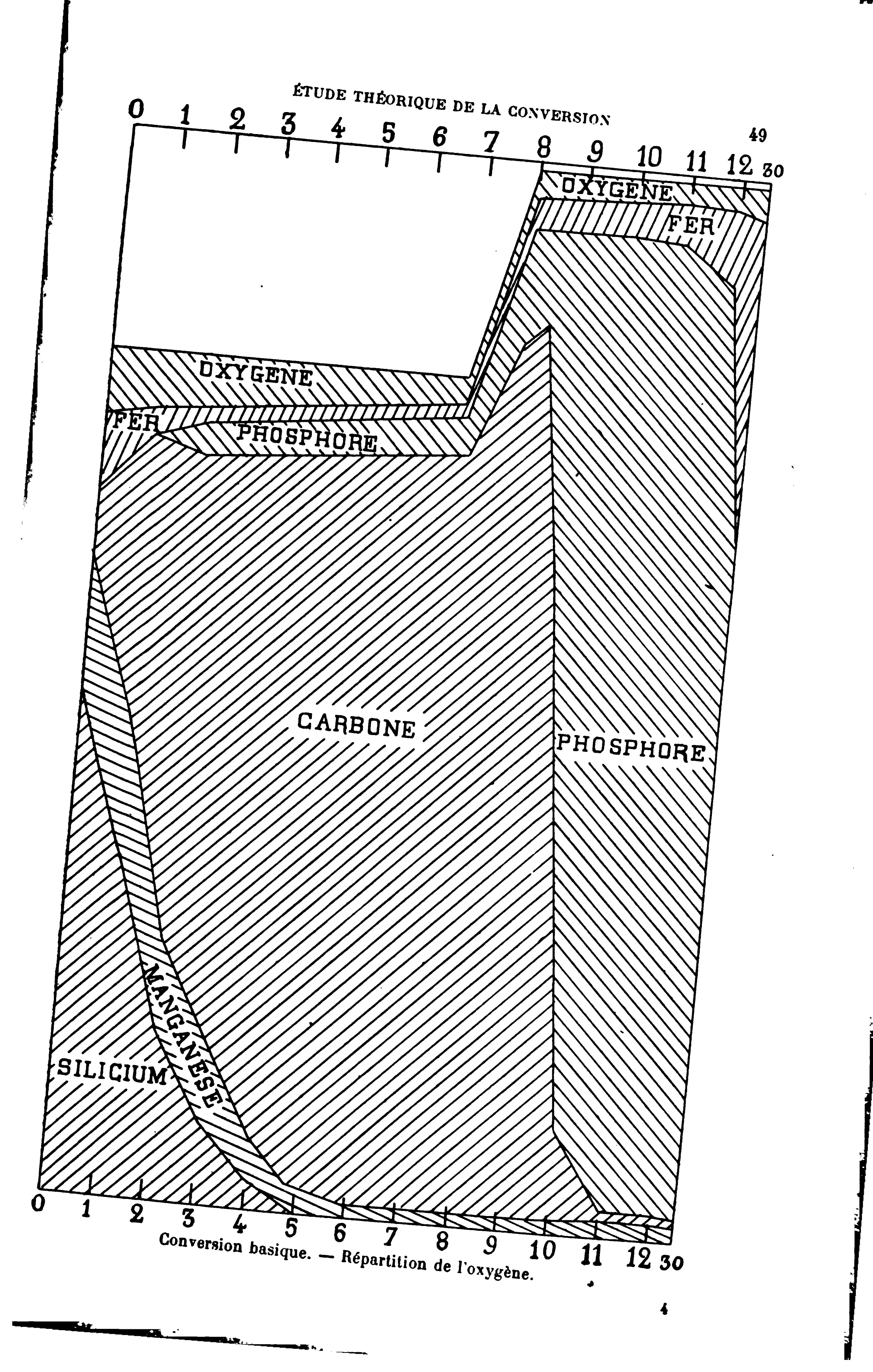
il renferme en poids :

	kilogrammes
O	863
H	3
Az	2.749
	3.615

Répartition de l'oxygène. — L'oxydation du fer et du manganèse exige, par rapport à leur poids, très peu d'oxygène, contrairement à celle — bien qu'incomplète — du carbone. A tout instant du soufflage, chacun des corps combustibles s'oxyde avec une intensité fonction de son affinité pour l'oxygène à la température actuelle, de sa proportion dans le bain, de l'affinité propre des corps voisins, de l'affinité du produit de son oxydation pour les éléments présents du bain et du garnissage.

Gaz sortant du bain. — La vitesse de la machine soufflante augmentant pendant la seconde partie de l'affinage pour vaincre la viscosité et l'accroissement de pression intérieure, le poids d'air injecté par unité de temps n'est pas constant; dans l'exemple que nous avons choisi, cette variation se produit à la huitième minute, le nombre de tours de la soufflante par minute passant de 42 à 53.

D'autres circonstances influent sur le poids des gaz qui s'échappent : l'oxygène en excès, libre ou combiné à l'oxyde de carbone, est en quantité plus grande au début de l'opération, tant que la température reste inférieure à 1.400° ; la combustion du carbone donne seule un produit gazeux ; par suite, lorsqu'elle s'effectue, le poids des gaz au bec est supérieur au poids d'air injecté ; le contraire a lieu pour tous les autres éléments combustibles. Les gaz pris au bec de la cornue contiennent : l'azote de l'air; — l'hydrogène provenant de la décomposition de la vapeur d'eau par le fer ; — l'oxygène en excès, que la dissociation a écarté d'une combinaison avec l'hydrogène ou l'oxyde de carbone ; — l'oxyde de carbone résultant de l'oxydation du carbone; — l'anhydride carbonique dû à une réaction secondaire, hors du bain, de l'oxyde de carbone et d'une partie de l'oxygène libre; — l'anhydride sulfureux produit par une oxydation partielle du sulfure ferreux ; — enfin de la vapeur d'eau ayant traversé le bain sans subir de décomposition,



Conversion basique. — Répartition de l'oxygène.

ou s'étant formée par réaction ultérieure, dans la panse, entre l'hydrogène et l'oxygène. La teneur de ces gaz en CO^2 et H^2O diminue quand la température s'élève, tant par réduction que par dissociation.

La chaux n'est pas immédiatement déshydratée ni décarbonatée, en raison de sa faible conductibilité: on en retrouve, même après la fin du soufflage, les fragments incuits.

Pendant la décarburation, les gaz du bec offrent un volume supérieur à celui de l'air injecté ; ils sont en outre combustibles ; il en résulte une flamme longue, très éclairante. Au début et à la fin de l'opération, les fumées, composées presque uniquement d'azote à température assez élevée pour être lumineux, sont courtes et peu éclairantes ; la présence de l'oxygène s'y manifeste par une couleur bleue ou violette.

Calcul de la chaleur dégagée par la conversion. — Les fontes de conversion basique sont blanches, pauvres en silicium ; elles empruntent la chaleur nécessaire pour la bonne marche de l'opération presque uniquement au phosphore ; la température du bain s'élève donc peu jusqu'à la fin de la décarburation ; pendant le départ du carbone, elle reste presque stationnaire. L'accroissement de température final est brusque ; il dure tant que le phosphore brûle en quantité notable ; il diminuerait ensuite rapidement si le soufflage était prolongé, et portait son action sur le fer.

FUMÉES DE L'OPÉRATION BASIQUE

TEMPS en MINUTES	TOURS de la SOUFFLANTE	POIDS D'AIR INJECTÉ	POIDS THÉORIQUE DES GAZ A LA SURFACE DU BAIN					COMPOSITION 0/0 DES GAZ AU BEC				
			Az	H	O	CO	POIDS TOTAL	Az	H	O	CO	CO^2
		kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.					
1	42	263	200,0	0,4	5,5	10,0	215,9	94,5	0,00	2,2	3,1	0,2
2	42	»	»	»	5,0	12,5	217,9	93,4	0,01	1,9	4,5	»
3	»	»	»	»	4,5	20,5	225,4	90,2	»	1,4	8,1	0,5
4	»	»	»	»	4,0	37,0	241,4	84,2	0,02	0,5	14,6	0,7
5	»	»	»	0,5	»	45,0	249,5	81,4	0,05	0,2	17,6	0,8
6	»	»	»	»	3,5	73,5	277,5	73,0	0,07	0,0	26,2	0,7
7	»	»	»	»	3,0	74,0	»	72,7	0,11	»	26,4	»
8	47,5	295	225,0	»	»	»	302,5	74,5	0,17	»	24,5	»
9	53	329	250,0	0,6	2,5	70,5	322,6	77,3	0,18	»	21,8	0,6
10	»	»	»	0,5	2,0	44,0	296,5	84,2	0,19	»	14,9	0,4
11	»	»	»	0,3	»	4,0	256,3	97,6	0,13	0,2	2,5	0,2
12	»	»	»	0,3	1,5	»	251,8	99,3	0,11	0,3	0,0	0,0
12 1/2	26,5	164	125,0	0,1	0,5	»	125,6	99,4	0,09	»	»	»
	580	3.615	2.749	3,6	40,5	465,5	3.260,5					

La chaleur totale dégagée pendant la conversion est la somme des calories produites par l'oxydation de chaque corps, comme s'il était seul dans le bain. De même que la nomenclature des puissances calorifiques, les nombres obtenus sont loin d'indiquer la valeur thermique des éléments, celle-ci dépendant uniquement du nombre de calories que le bain utilise.

CHALEUR TOTALE DÉGAGÉE PAR LA CONVERSION

ÉLÉMENTS	CALORIES PAR KILO	POIDS OXYDÉ	CALORIES TOTALES
Si	7.830	55,0	430.600
Ph	5.760	199,6	1.149.600
C	2.380	317,4	755.400
Mn	1.730	130,1	225.100
Fe	1.350	268,9	363.100
			2.923.800

RÉPARTITION DE LA CHALEUR DÉGAGÉE DANS LES DIFFÉRENTES PHASES DU SOUFFLAGE

TEMPS EN MINUTES	CALORIES DÉGAGÉES	PÉRIODES D'AFFINAGE
1	299.200	Combustion du silicium.
2	218.400	— — manganèse.
3	169.500	Décarburation intense.
4	139.100	
5	116.900	
6	157.400	
7	170.500	Augmentation de la vitesse d'affinage.
8	213.400	
9	253.200	
10	321.600	
11	420.300	Déphosphoration intense.
12	347.000	
12 1/2	97.600	Combustion du fer.
	2.923.800	

Balance de chaleur. — Le système formé par la fonte, la chaux, le vent et la cornue est soumis à deux sortes de phénomènes, les uns exothermiques, les autres endothermiques ; on établit la balance de chaleur, en écrivant qu'il y a identité entre les énergies potentielles des états initial et final.

A. *Quantités positives.* — En fonctionnement normal, la température de la cornue est la même au début de chaque coulée ; la chaleur qu'elle absorbe durant le soufflage est rayonnée pendant l'opération et le laps de temps qui s'écoule jusqu'à l'opération suivante, ou bien restituée aux éléments de cette dernière ; toutes les coulées consécutives étant supposées analogues, la chaleur rayonnée d'une opération à l'autre présente seule de l'importance.

En raison de la forte épaisseur du garnissage, de son peu de conductibilité, du poids relativement faible corrodé par chaque opération (180 kilogrammes sur 35.000), la surface extérieure de la cornue reste à température sensiblement constante ; à l'occasion de coulées restées dans le convertisseur après achèvement, pour une raison quelconque (accident à la poche à acier, etc...), on a pu fixer à 5° la perte de température par minute due au rayonnement et à la convection.

La fonte, versée dans le convertisseur à 1.250°, possède à cette température une chaleur latente de 285 calories par kilogramme.

La chaleur spécifique de la chaux, chargée à 20°, est 0,19.

L'air est aspiré à 20° à l'extérieur ; mais la compression, qu'on ne peut rendre parfaitement isotherme, l'amène à 50° dans la boîte à vent.

Nous avons vu que les réactions internes dues à l'oxydation du bain apportent 2.923.800 calories. Signalons enfin des réactions secondaires résultant de la formation de silicates ou phosphates, faiblement exothermiques.

B. *Quantités négatives.* — Les diverses causes d'absorption de chaleur sont les suivantes :

D'un côté, l'acier, la scorie, les projections et matières solides entraînées avec les fumées sont portés à la température finale ; de l'autre, les gaz sortent du bain à sa température même, variable avec l'instant considéré ; l'épaisseur de ce bain est suffisante pour que la transmission soit complète, d'autant plus que l'azote accompagnant l'oxygène se trouve avec ce dernier aux points mêmes où se produisent les combustions, par suite dans les meilleures conditions pour que l'échange de chaleur soit rapide.

En pénétrant par les tuyères, l'air subit une détente endothermique ; la différence des pressions régnant dans la boîte à vent et dans la panse de la cornue est égale à la pression équivalente à la hauteur du bain, augmentée de la pression correspondant à la vitesse d'injection. Cette détente n'est ni adiabatique, puisque les tuyères et le métal cèdent leur chaleur, ni isothermique, puisque l'air s'élève à la température du bain. Dans l'impossibilité de l'évaluer exactement, on admettra qu'elle compense la chaleur de formation des silicates et des phosphates.

Le rayonnement et la convection seront supposés provoquer une chute de température de 5° par minute. Il est à remarquer que, pendant le soufflage, la surface de déperdition se réduit à l'aire latérale d'un cylindre ayant pour hauteur celle du bain. La chaleur rayonnée par le fond est en effet absorbée par l'air qui le traverse ; la portion de la cornue qui surmonte le bain est échauffée par les gaz, après leur réaction sur le métal ; enfin le rayonnement superficiel de la scorie sur les parois est minime, car les températures de ces surfaces sont presque identiques.

La chaux, humide et incomplètement calcinée, absorbe 940 calories par kilogramme de CO^2 dégagé, et 1.060 calories pour la déshydratation et la vaporisation d'un kilogramme d'eau.

La dissociation de CO^2 en présence du fer nécessite 1.550 calories par kilogramme. La dissociation de la vapeur d'eau s'effectue avec oxydation du fer :

$$H^2O + Fe = FeO + H^2 ;$$

elle exige 28.780 calories par kilogramme d'hydrogène formé, dont on doit toutefois déduire la chaleur de formation de l'oxyde ferreux. On voit toute l'importance que possède l'humidité de la chaux ou de l'air sur la température finale.

Température instantanée du soufflage. — En égalant l'expression de la chaleur dégagée à celle de la chaleur reçue, on peut en déduire la température finale ; l'un des termes de cette équation représente la chaleur emportée par les gaz, dont la température varie à chaque instant. Cette fonction du temps étant inconnue, on ne peut avoir recours au calcul différentiel ; on est donc réduit à calculer les températures successives en cherchant l'accroissement dT correspondant à un accroissement de temps dE, choisi assez petit pour que la température moyenne de sortie des gaz pendant ce temps soit sensiblement la moyenne des températures initiale et finale.

La température initiale du système est supposée être 1.140° ; la fonte a été versée vers 1.250°, la paroi intérieure du convertisseur était à 1.650°, mais l'addition de chaux froide a réduit la température moyenne du système.

Soit 1.335° la température à la fin de la sixième minute :

$$T_6 = 1.335°,$$

et soit à calculer la température T_7 après la septième minute du soufflage. La seule source de chaleur qui agisse pendant ce temps est l'oxydation du bain ; elle a porté sur :

	Kilogrammes.
Si	0,0
C	51,3
Ph	3,9
Mn	1,3
Fe	17,1

ayant dégagé au total : 173.400 calories.

La température T calculée sans faire intervenir le refroidissement par la cornue est supérieure de 5° à la température réelle T_7 :

$$T_7 = T - 5.$$

Les absorptions de chaleur sont dues :

— A la décomposition des incuits et à la dissociation de l'anhydride carbonique, ayant porté sur 4kg,6 de CO^2, soit :

$$4,6\,(940 + 1.550) \text{ calories;}$$

— A la déshydratation de la chaux et à la dissociation de la vapeur d'eau, ayant mis en liberté 0kg,28 d'hydrogène, soit :

$$0,28\left(1.060\,\frac{18}{2} + 28.780\right) \text{ calories;}$$

— A la dissociation de la vapeur d'eau hygrométrique, ayant donné naissance à 0kg,22 d'hydrogène, soit :

$$0,22 \times 28.780 \text{ calories;}$$

— A la chaleur emportée par 277kg,5 de fumées, parmi lesquels

51kg,3 proviennent du carbone brûlé, et se trouvaient par conséquent, au début de la période considérée, à la température T_6 ; en supposant leur chaleur spécifique équivalente à celle des gaz, ils ont absorbé :

$$51,3 \times 0,245 \left(\frac{T_7 + T_6}{2} - T_6\right) \text{ calories ;}$$

— Les gaz provenant de la déshydratation et de la décarbonatation de la chaux ont éprouvé le même accroissement de température, soit :

$$0,245 \left\{4,6 + \left(0,28 \times \frac{18}{2}\right)\right\} \left\{\frac{T_7 + T_6}{2} - T_6\right\} \text{ calories ;}$$

— Le reste des gaz sortis du bec a été porté de 50° à $\frac{T_7 + T_6}{2}$, nécessitant :

$$\left\{277,5 - \left(51,3 + 4,6 + 0,28 \frac{18}{2}\right)\right\} 0,245 \left\{\frac{T_7 + T_6}{2} - 50\right\} \text{ calories.}$$

Enfin, une partie de l'oxygène insufflé s'est combiné avec les éléments scorifiables ; il a été porté de 50° à T_6, température au delà de laquelle il est supposé faire partie de la scorie ; c'est l'oxygène qui a réagi sur Mn, Fe, Ph, soit 5kg,9, d'où absorption de :

$$5,9 \times 0,245 (T_6 - 50) \text{ calories.}$$

— Le bain, métal et scorie, a été porté de T_6° à T_7°, par un nombre de calories égal à :

$$\{(9.545 \times 0,188) + (1.750 \times 0,228)\} \{T_7 - T_6\},$$

les chaleurs spécifiques du métal et de la scorie étant à cette température 0,188 et 0,228.

En égalant les expressions de la chaleur absorbée et de la chaleur dégagée, on trouve :

$$T_7 = 1.360° ;$$

l'élévation de la température pendant la septième minute est donc

$$T_7 - T_6 = 25°.$$



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 30

1750
1705
1625
1505
1435
1395
1360
1325
1305 1310
1290
1265
1215
1140

GAZ
GAZ
GAZ
ACIER
ACIER
SCORIE
SCORIE
H^2O (AIR)
H^2O - CO^2 (CHAUX)
CORNUE

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 30

Conversion basique. — Répartition de la chaleur.
Température du bain.

Ce même calcul, effectué pour chaque minute du soufflage, conduit pour la température finale au chiffre : 1.730°.

Rendement calorifique de la conversion. — Le rendement du convertisseur considéré comme appareil de chauffage est le rapport entre la chaleur utilisée pour élever la température du métal et la chaleur totale dégagée. 10.000 kilogrammes de fonte chargée à 1.250° (chaleur latente = 185 calories par kilogramme) ont produit 9.100 kilogrammes d'acier à 1.730° (chaleur latente = 405 calories par kilogramme); le rendement est 0,283, chiffre relativement élevé pour une opération effectuée à haute température, sans récupération de la chaleur entraînée par les gaz. Il est dû au mode d'action du combustible, qui fait partie intégrante du métal à chauffer, et s'y trouve uniformément réparti ; le bain est ainsi dans de très bonnes conditions pour absorber le plus de chaleur possible.

Raffinage. — Production d'acier doux. — Lorsqu'on juge l'opération terminée, on décrasse en ne laissant qu'une mince couche de scorie destinée à protéger le métal contre le refroidissement ; sa composition est à ce moment :

	Pour 100
Si	Traces
C	0,030
Ph	0,060
Mn	0,22
Fe	98,91
FeO	0,78

La désoxydation et la recarburation sont faites simultanément par des alliages manganésés.

Pour la production d'acier doux, on ajoute, en fragments de 5 à 8 kilogrammes, chauffés préalablement, 75 kilogrammes de ferromanganèse, renfermant :

	Pour 100
Mn	80,00
Fe	12,00
C total	7,40
Ph	0,12
Si	0,45
S	Traces

TEMPS en MINUTES	CALORIES DÉGAGÉES	CALORIES ABSORBÉES: par la dissociation de CO^2 et H^2O de la chaux	par dissociation de H^2O de l'air	PAR LES GAZ (air et fumées): poids injecté	poids au bec	chaleur spécif.	Calories	PAR LE MÉTAL: poids	chaleur spécif.	Calories	PAR LA SCORIE: poids	chaleur spécif.	Calories	INFLUENCE de la CORNUE en degrés	TEMPÉRATURE à la MINUTE	ACCROISSEMENT de température dans la minute
0								10.000	0,180		1.325	0,220			1.140°	
1	299.200	16.000	6.300	263	216	0,242	76.000	9.915	0,182	134.400	1.455	0,222	24.200	— 5	1.215	75
2	218.400	16.300	»	»	218	6,243	80.500	9.850	0,183	90.200	1.550	0,223	17.300	»	1.265	50
3	169.500	16.600	»	»	225	0,244	83.500	9.795	0,185	45.500	1.615	0,225	9.000	»	1.290	25
4	139.100	17.200	»	»	241	»	85.000	9.740	0,186	20.800	1.655	0,226	5.600	»	1.305	15
5	116.900	18.400	»	»	250	»	85.500	9.685	»	9.000	1.685	»	1.900	»	1.310	5
6	157.400	19.200	»	»	277	0,245	86.500	9.615	0,187	44.600	1.715	0,227	9.600	»	1.335	25
7	170.500	20.300	»	»	»	»	88.000	9.545	0,188	44.800	1.750	0,228	9.800	»	1.360	25
8	213.400	21.600	7.200	295	303	0,246	101.000	9.465	0,190	63.100	1.790	0,230	14.400	»	1.395	35
9	253.200	20.500	7.700	328	323	0,247	117.000	9.380	0,192	71.900	1.860	0,232	17.400	»	1.435	40
10	321.600	14.500	7.800	329	296	0,248	123.500	9.295	0,195	127.300	1.980	0,235	32.500	»	1.505	70
11	420.300		»	»	256	0,250	133.500	9.205	0,201	219.500	2.180	0,241	62.900	»	1.625	120
12	347.000		»	»	252	0,252	141.000	9.130	0,205	159.000	2.355	0,245	48.800	»	1.710	85
12,5	97.600		3.900	164	126	»	71.500	9.100	0,206	37.500	2.415	0,246	11.900	— 2,5	1.730	20

Silicium, manganèse et carbone jouent vis-à-vis de l'oxyde de fer le rôle de réducteurs; en raison de sa faible proportion, de son affinité pour l'oxygène, de celle de la silice pour l'oxyde manganeux naissant, le silicium est totalement oxydé.

Le poids d'oxygène combiné au métal est de 15kg,7 formant avec le fer 70kg,6 de protoxyde; le métal désoxydé a pour composition :

	Pour 100
Si	Traces
Mn	0,42
C	0,07
Ph	0,06
FeO	0,044

La rephosphoration est presque nulle, et le poids du métal est sensiblement le même après désoxydation.

La réduction s'est effectuée sur 14kg,8 d'oxygène, au moyen de :

	Kilog.
Si	0,34
Mn	40,60
C	1,90

le bain final renferme encore 0kg,9 d'oxygène combiné au fer, sous forme de 4kg,1 de protoxyde, soit 0,041 0/0, dose insuffisante pour rendre le métal rouverin, surtout en présence du manganèse.

La réaction du ferromanganèse sur le bain est exothermique; mais, comme il est jeté dans le convertisseur à une température inférieure à celle du métal, son addition provoque un refroidissement.

Les quantités de chaleur correspondant à ces réactions sont :

Combustion de 0kg,34 Si	+ 2.650	calories
— 40 ,6 Mn	+ 70.200	—
— 1 ,9 C	+ 4.680	—
Réduction de 56 ,6 FeO	— 69.680	—
Chauffage de 75 kilogrammes de ferromanganèse de 1.000° à 1.730°	— 11.250	—
Total	— 3.400	

Cette chaleur nécessaire à la fusion du ferro a été fournie par le bain, dont la température s'est ainsi abaissée d'environ 2°, ce qui est pratiquement négligeable.

Par contre, le rayonnement du bain et du convertisseur pendant le décrassage et la fusion du ferromanganèse est notable ; des courants d'air se produisent par le bec, refroidissant les parois de la cornue et la surface du bain ; l'abaissement de température est voisin de 40°, pour les six minutes qui séparent la fin du soufflage de la coulée en poche.

Raffinage. — Production d'acier dur. — La recarburation pour acier dur est effectuée au moyen de fontes manganésées, ajoutées liquides dans la poche à acier.

La fusion du spiegeleisen au cubilot lui fait éprouver une perte au feu de 6 0/0, et diminue sa richesse en manganèse et carbone :

SPIEGELEISEN A 12 0/0

	Avant fusion	Après fusion
Si	0,30	0,36
Mn	12,10	11,05
C	5,30	5,05
Ph	0,080	0,085
S	0,015	0,015
Cu	traces	traces

Pendant la coulée du métal dans la poche à acier, on a versé 810 kilogrammes de spiegel liquide, qui a réagi immédiatement. Le bain, sous un poids final de 9.800 kilogrammes, présente comme composition :

	Pour 100
Si	traces
Mn	0,95
C	0,38
Ph	0,062
S	0,040
FeO	0,008

La réduction s'est effectuée sur $15^{kg},5$ d'oxygène au moyen de :

	Kilogrammes
Si	2,40
Mn	16,30
C	6,30

Le bain final ne renferme plus que $0^{kg},2$ d'oxygène à l'état de protoxyde de fer ($0^{kg},9$) ; la teneur finale élevée en manganèse a pour

effet de diminuer considérablement la proportion d'oxyde de fer non réduit.

En supposant, comme dans le cas de la production d'acier doux, qu'au moment de la coulée en poche la température s'est abaissée de 40°, le métal est alors à 1.690°, avec une chaleur latente de 405 calories par kilogramme. Le spiegel a été ajouté à 1.250° (chaleur latente = 285 calories par kilogramme); la réaction a produit :

	Calories
Combustion de 2kg,40 de Si	+ 18.800
— 16 ,30 de Mn	+ 28.200
— 6 ,30 de C	+ 15.400
Réduction de 69 ,7 de FeO	— 73.500
TOTAL	— 11.100

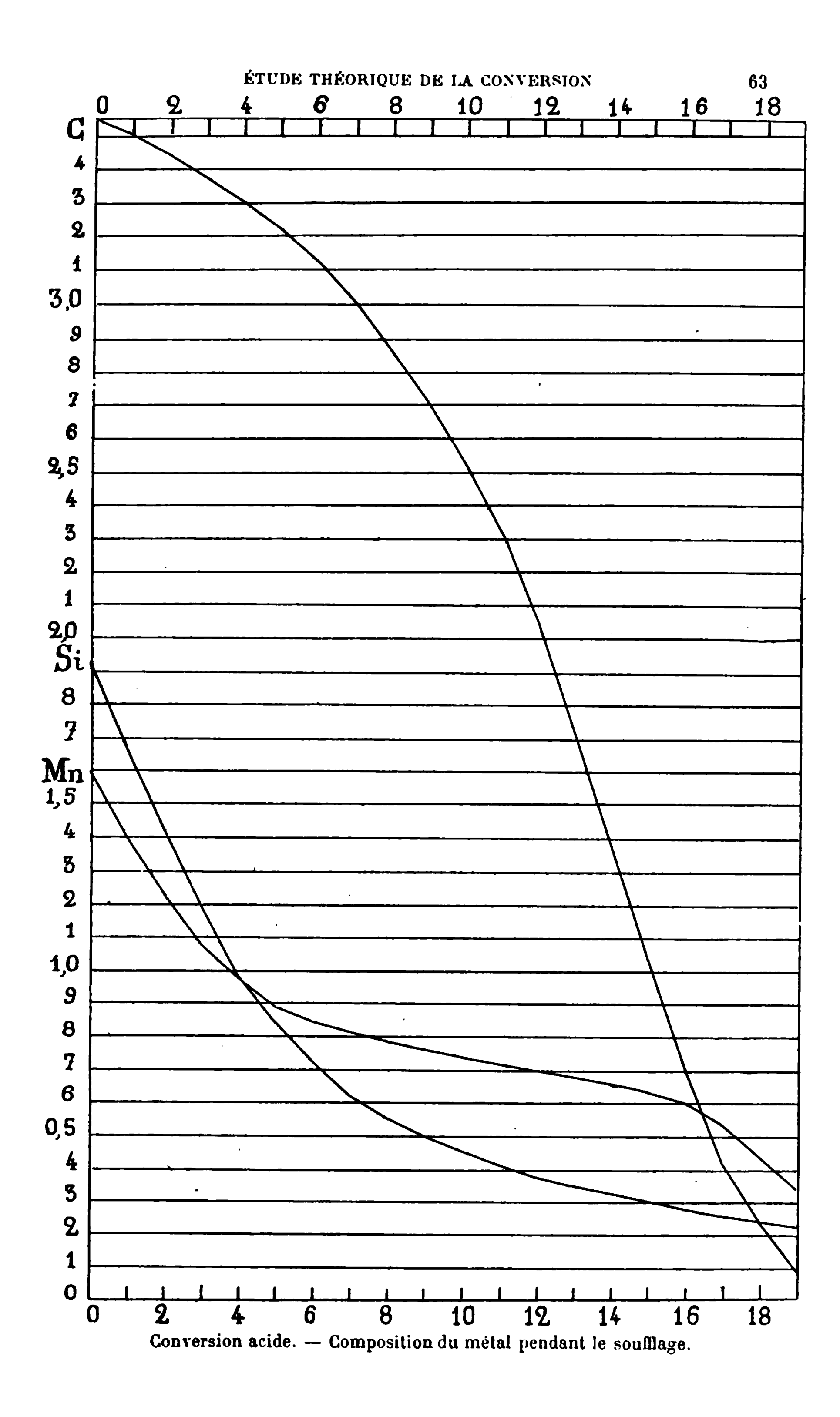
Elle est donc endothermique, parce qu'elle s'effectue au moyen du carbone et non du manganèse ; la différence est fournie par le bain, dont la température s'abaisse jusqu'à 1.660°.

La recarburation d'une coulée pour acier dur refroidit donc le bain, bien plus que la recarburation pour acier doux ; malgré la différence qui existe entre les points de fusion, une coulée paraissant froide à la fin du soufflage peut être menée à bien, si on la recarbure au ferromanganèse, alors qu'elle se figerait, s'il lui était fait une addition de spiegeleisen.

ÉTUDE D'UNE OPÉRATION BESSEMER

Composition de la charge. — Supposons un convertisseur acide, en fonctionnement normal, recevant une charge de 10.000 kilogrammes de fonte Bessemer, dont la composition est :

	Pour 100
C	3,55
Si	1,95
Ph	0,07
S	0,05
Mn	1,60
Fe	92,78



Conversion acide. — Composition du métal pendant le soufflage.

La charge a été soufflée dix-neuf minutes ; le spectroscope, les prises de métal et de scorie indiquent la fin de l'opération. La composition du métal est à ce moment :

	Pour 100
C	0,09
Si	0,22
Ph	0,07
S	0,05
Mn	0,35
FeO	0,19
Fe	99,02

il est alors désoxydé et recarburé par des alliages manganésés.

Ainsi que dans l'opération basique, l'action de l'oxygène se porte tout d'abord sur le fer, dont le protoxyde est réduit par les éléments combustibles, silicium, manganèse, carbone. Comme il n'est pas nécessaire, dans la conversion acide, de continuer le soufflage après le départ du carbone, la teneur du bain en oxyde ferreux est bien inférieure à celle que l'on constate, après déphosphoration, dans un métal basique ; elle peut rester suffisamment faible pour n'exiger que fort peu d'additions manganésées, lorsque l'affinage est arrêté avant la fin de la décarburation.

Composition du bain final. — Le métal final renferme, outre le fer, une partie des éléments non oxydés, Si, Mn, C, tout le phosphore initial, dont le pourcentage a donc augmenté, et la majeure partie du soufre. La scorie est composée de la silice, des oxydes de fer et de manganèse, des éléments du garnissage, silice, alumine, corrodés pendant l'opération. Elle est peu sulfureuse, n'étant pas calcaire ; la faible quantité de soufre qu'elle contient, inférieure à 0,1 0/0, est combinée au manganèse.

Les fumées comprennent l'azote, l'oxygène en excès, les produits de la combustion du carbone, CO et CO^2, et des traces d'anhydride sulfureux.

A. *Métal.* — Le calcul du poids final de métal ou de scorie est analogue à celui qui a été fait pour l'opération basique ; la chaux seule n'y figure pas. La combustion s'est effectuée sur des poids de :

		Kilogrammes
Si		174,7
Mn		145,3
C		346,7
Ph		traces
Fe, en FeO dissous	$13^{kg},8$	
Fe, en FeO dans la scorie	120 ,8	137,0
Fe, en FeO dans les fumées	2 ,3	
Perte totale		804,0

Le poids du métal, y compris le protoxyde de fer dissous, est :

$$9.196 + 13,8 . \frac{71,9}{55,9} = 9.214 \text{ kilogrammes.}$$

B. *Scorie.* — La corrosion du garnissage silico-alumineux est de 100 kilogrammes par opération; il a pour composition:

	Pour 100
SiO^2	87,0
$Al^2O^3 + Fe^2O^3 + CaO$	13,0

En raison de l'absence de chaux, le poids total de la scorie est bien moindre que dans l'opération basique; il ne dépasse pas 827 kilogrammes.

COMPOSITION DE LA SCORIE DE CONVERSION ACIDE

ÉLÉMENTS	PROVENANCE		POIDS	COMPOSITION
	MÉTAL	GARNISSAGE	TOTAL	0/0
SiO^2	374,3	87,0	461,3	55,5
P^2O^5	traces		traces	traces
Al^2O^3		12,0	12,0	1,45
MnO	187,6		187,6	22,10
FeO	165,0	traces	165,0	20,85
CaO		»	traces	traces
	727,0	100	827,0	100,0

Une partie de la scorie est entraînée par les fumées et projetée hors de l'appareil, bien qu'étant moins fluide que la scorie basique.

Poids d'oxygène nécessaire pour l'opération. — L'oxydation du métal produit uniquement de l'oxyde de carbone, car la température s'élève assez rapidement dès le début de l'opération, par suite de la combustion du silicium. En négligeant ce qui est nécessaire pour oxyder les traces de phosphore et le soufre, on trouve, comme poids d'oxygène théoriquement nécessaire, 738kg,5 :

ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES			POIDS D'OXYGÈNE NÉCESSAIRE	
CORPS	CORPS PRODUITS	POIDS	POUR 1 KILOGR.	TOTAL
Si........	SiO^2	174kg,7	$\frac{32}{28}$	199kg,5
C........	CO	346 ,7	$\frac{16}{12}$	462 ,3
Mn.......	MnO	145 ,3	$\frac{16}{54,8}$	42 ,3
Fe.......	FeO	137 ,0	$\frac{16}{55,9}$	34, 2
		804kg,0		738kg,5

La proportion d'oxygène inactif étant d'environ 4,5 0/0, le poids d'oxygène injecté doit atteindre 773 kilogrammes ; l'affinage est effectué simultanément par cet oxygène et par la vapeur d'eau hygrométrique entraînée avec l'air ; la composition de l'air humide, à 20°, au degré hygrométrique 0,70, est par mètre cube :

	Grammes
O	286,06
H	1,01
Az..	911,36

Le volume d'air nécessaire est donc : $\frac{773}{0,286} = 2.702$ mètres cubes, renfermant en poids :

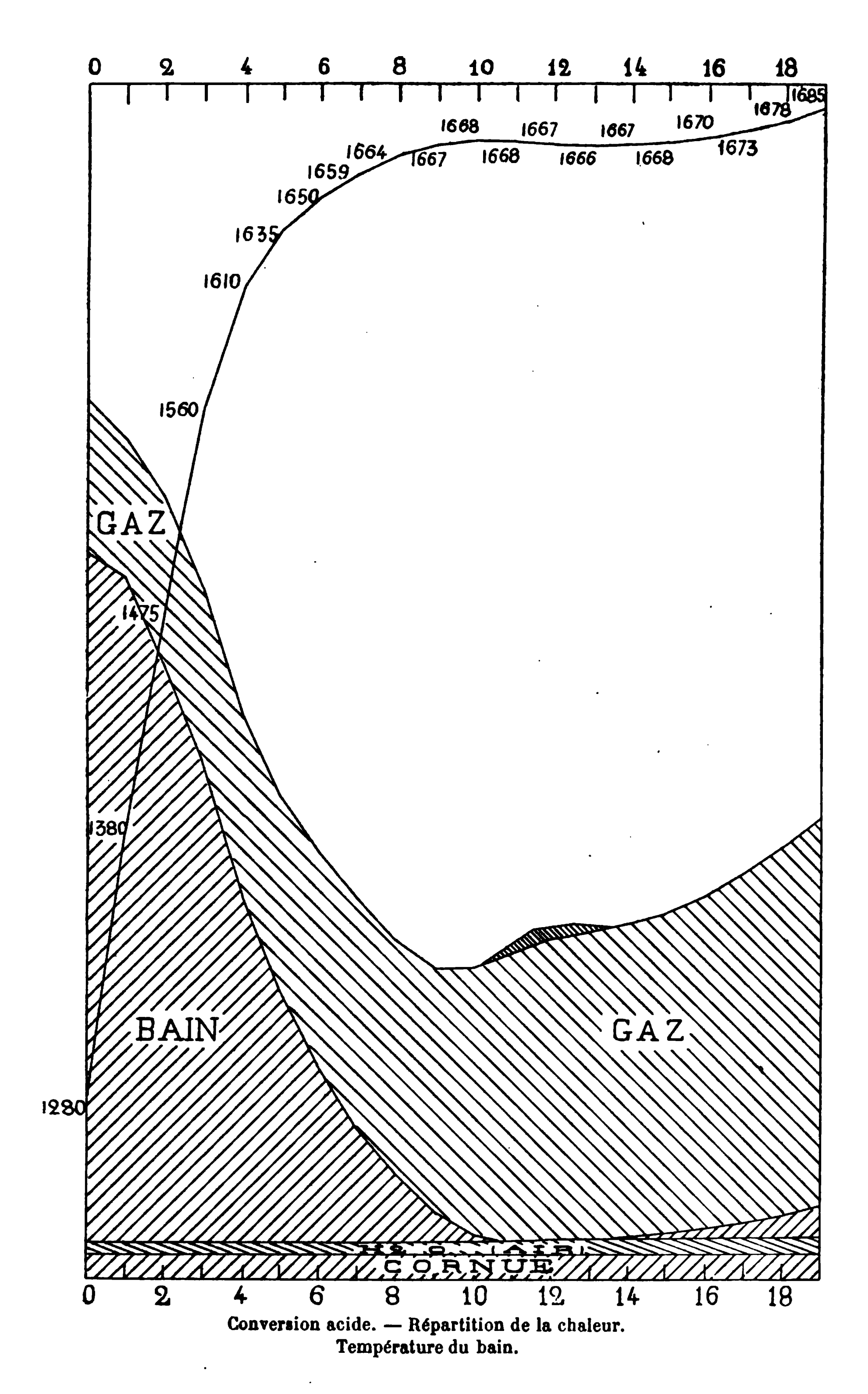
O	773,0	3.238kg,5
H	2,3	
Az	2.463,2	

La température s'élève rapidement dès le début du soufflage, de sorte que bientôt l'action de l'oxygène se porte sur le carbone, dont l'affinité pour lui augmente. Dans la seconde moitié de la conversion, le métal, très échauffé, est devenu très fluide ; la pression initiale ne suffit plus à le maintenir au-dessus des tuyères ; elle doit être augmentée (il en est de même dans le procédé basique, mais pour une raison contraire) ; la machine soufflante passe de 42 à 48 tours par minute, pendant la onzième et la douzième minute du soufflage.

Gaz sortant du bain. — La composition des gaz sortant du bain est moins complexe que dans le cas de l'opération basique, puisqu'ils ont pour seule origine les éléments de l'air injecté ; leur teneur en CO^2 et H^2O est faible, vu la très haute température qui ne tarde pas à régner dans la cornue, et y favorise la dissociation. Comme la combustion du carbone se produit dès le début, l'aspect de la flamme est moins variable que dans l'opération Thomas, et la pression de soufflage plus régulière ; aussi l'aspect des fumées indique-t-il très nettement là disparition du carbone.

FUMÉES DE L'OPÉRATION ACIDE

TEMPS en MINUTES	TOURS de la SOUFFLANTE	POIDS D'AIR INJECTÉ	POIDS DES GAZ A LA SURFACE DU BAIN					COMPOSITION EN POIDS POUR 100			
			Az	H	O EN EXCÈS	CO	TOTAL	Az	H	O	CO
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.				
1	42	170,4	129,6	0,11	2,0	11,6	143,3	90,4	0,1	1,3	8,1
2	»	»	»	»	1,9	14,1	145,7	88,8	»	»	9,7
3	»	»	»	»	»	15,1	146,7	88,3	»	»	10,2
4	»	»	»	»	»	17,3	148,9	87,9	»	»	11,6
5	»	»	»	»	»	21,0	152,6	85,0	»	»	13,5
6	»	»	»	»	»	23,3	154,9	83,5	»	1,2	15,1
7	»	»	»	»	»	28,9	160,5	80,6	»	»	18,0
8	»	»	»	»	»	33,5	165,1	78,4	»	1,1	20,3
9	»	»	»	»	»	39,2	170,8	75,7	»	»	23,0
10	»	»	»	»	1,8	44,9	176,4	73,6	»	1,0	25,2
11	»	»	»	»	»	52,2	183,7	70,4	»	0,9	28,5
12	44	178,8	136,0	0,12	»	62,3	200,2	67,8	»	»	31,1
13	46	186,8	141,0	0,13	1,7	74,5	217,3	64,8	»	0,8	34,3
14	48	194,8	148,2	0,14	»	75,5	225,5	65,5	»	»	33,5
15	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
16	»	»	»	»	1,6	76,2	226,1	»	»	»	»
17	»	»	»	»	»	76,5	226,4	»	»	»	»
18	»	»	»	»	»	47,9	197,8	74,9	»	»	24,1
19	»	»	»	»	»	34,3	184,2	80,4	»	»	18,6
	840	3.238,5	2.463,2	2,3	34,5	809,0	3.309,0				



Conversion acide. — Répartition de la chaleur.
Température du bain.

Chaleur dégagée par la conversion. — La chaleur dégagée par la combustion du silicium est ici la plus considérable; en raison même de la grande quantité d'air que nécessite le carbone et de la température élevée à laquelle se produit sa combustion, l'effet de la décarburation est sans grande importance.

CHALEUR TOTALE DÉGAGÉE PAR LA CONVERSION

ÉLÉMENTS	CALORIES PAR KILO	POIDS OXYDÉS	CALORIES TOTALES
		kilog.	
Si....	7.830	174,7	1.368.000
C....	2.380	346,7	825.200
Mn...	1.730	145,3	251.400
Fe ...	1.350	137,0	184.900
			2.629.500

La balance de chaleur s'établit de la même manière que pour le procédé basique. Le refroidissement par la surface externe de la cornue, qui pour la même contenance est de moindres dimensions, n'est que de 4° par minute. La fonte, versée à 1.280°, a une chaleur latente de 290 calories par kilogramme; comme on n'ajoute pas de chaux, la température initiale de l'opération est voisine de 1.280°; elle peut même être supérieure, en raison de la chaleur des parois de la cornue.

Dans la boîte à vent, l'air est à 50°; il subit une détente endothermique en traversant les tuyères et le bain; nous la supposerons compenser la chaleur de formation des silicates ferreux et manganeux.

La température à un instant quelconque se calcule d'après les mêmes principes que précédemment; la température finale est moindre que dans l'opération basique, car il n'est pas nécessaire de laisser le bain aussi longtemps dans la cornue avant de couler, puisque le décrassage est supprimé. L'élévation de température dans la conversion acide est donc moindre que dans la conversion basique.

TEMPS en MINUTES	CALORIES DÉGAGÉES	CALORIES ABSORBÉES						INFLUENCE de la CORNUE en degrés	TEMPÉRATURE à la MINUTE	ACCROISSEMENT de la TEMPÉRATURE dans la minute
		par dissociation de H^2O de l'air	PAR LES GAZ (air et fumées)			PAR LE BAIN (métal et scorie)				
			poids injecté	poids au bec	chaleur spécif.	poids	chaleur spécif.			
0						10.000	0,184		1.280	
1	258.600	3.400	170,4	143,3	0,245	10.025	0,188	— 4	1.380	+ 100
2	230.400	»	»	145,7	0,247	10.051	0,193	»	1.475	+ 95
3	226.900	»	»	146,7	0,248	10.074	0,197	»	1.560	+ 85
4	197.200	»	»	148,9	0,249	10.092	0,200	»	1.610	+ 50
5	150.500	»	»	152,6	0,250	10.108	0,201	»	1.635	+ 25
6	134.200	»	»	154,9	»	10.124	0,202	»	1.650	+ 15
7	126.700	»	»	160,5	»	10.133	»	»	1.659	+ 9
8	108.800	»	»	165,1	»	10.137	»	»	1.664	+ 5
9	99.000	3.500	»	170,8	»	10.136	»	»	1.667	+ 3
10	83.600	»	»	183,7	»	10.132	»	»	1.668	+ 1
11	90.900	3.600	»	200,2	»	10.112	»	»	»	0
12	100.400	3.700	178,8	217,3	»	10.073	»	»	1.667	— 1
13	102.200	3.900	186,8	225,5	»	10.033	»	»	1.666	— 1
14	104.500	4.000	194,8	»	»	9.998	»	»	»	0
15	106.100	»	»	226,1	»	9.973	»	»	1.668	+ 2
16	109.400	»	»	»	0,251	9.951	0,203	»	1.670	+ 2
17	119.700	»	»	226,4	»	9.985	0,203	»	1.673	+ 3
18	124.400	»	»	197,8	»	10.005	»	»	1.678	+ 5
19	133.000	»	»	184,2	»	10.020	»	»	1.685	+ 7

Rendement calorifique de la conversion. — En raison de l'absence de chaux, le rendement est, à première vue, supérieur à celui de l'opération basique; 10.000 kilogrammes de fonte à 1.280° (chaleur latente = 290 calories par kilogramme) ont produit 9.214 kilogrammes d'acier à 1.685° (chaleur latente = 400 calories par kilogramme); le rendement est : 0,298.

Raffinage; recarburation. — Dès la fin du soufflage, les additions sont faites dans la cornue; il n'y a pas à craindre une rephosphoration par le carbone, à leur contact avec la scorie, puisque celle-ci n'est pas phosphoreuse. La composition du métal est :

	Pour 100
Si	0,22
C.	0,09
Ph	0,07
Mn	0,35
FeO	0,19

Le raffinage effectué avec 20 kilogrammes de ferromanganèse à 80 0/0 a donné un acier doux, renfermant :

	Pour 100
Si	0,20
C	0,105
Ph	0,07
Mn	0,48
FeO	0,01

La diminution de la teneur en silicium fait supposer que le bain s'est désoxydé spontanément; cette réaction a été favorisée par la production d'oxyde manganeux, pour lequel la silice présente une vive affinité. La réduction a porté sur 3^{kg}, 69 d'oxygène, au moyen de :

	Kilogrammes	
Mn	6,79	empruntés au ferromanganèse
C	0,12	empruntés au ferromanganèse
Si	0,09	empruntés au ferromanganèse
Si	1,21	empruntés au bain

Le métal acide renferme, à égalité de teneur en carbone, moins de protoxyde de fer que le métal Thomas; la fabrication d'une même nuance d'acier nécessite des additions moins considérables, dont l'influence sur la température finale est sensiblement nulle.

CHAPITRE III

FONTES DE CONVERSION. — CUBILOTS. — MÉLANGEURS

Composition des fontes de conversion. — L'affinage par conversion exige que la fonte soit préalablement amenée à l'état liquide dans un appareil étranger au convertisseur. Cette fusion se fait au cubilot, ou bien, plus souvent, on envoie directement la fonte sortant du haut-fourneau à l'atelier des convertisseurs. Etant donné qu'outre la composition chimique la conversion modifie considérablement la température du métal, on rendra l'opération moins onéreuse et plus simple en réduisant cet accroissement de température, c'est-à-dire en chargeant la fonte très chaude dans la cornue, et en maintenant celle-ci à température élevée.

La teneur de la fonte en éléments thermogènes varie avec la rapidité et le mode de fabrication ; une marche ininterrompue, des coulées se succédant de très près permettent l'emploi d'une fonte moins silicieuse ou moins phosphoreuse, de production plus économique au haut-fourneau. La teneur en manganèse peut être également réduite si le travail de l'aciérie est assez précipité, car la cornue étant alors plus chaude, l'ordre d'oxydation se trouve modifié au début du soufflage ; le carbone entre rapidement en combustion, à la place du manganèse, dont la teneur finale reste suffisante.

Le carbone est sans effet sur l'issue du soufflage, dont la durée seule est influencée.

Le soufre est naturellement en proportion aussi minime que possible ; une refonte au cubilot avec des laitiers calcaires en réduit quelque peu la teneur primitive, mais diminue également celles du manganèse, du silicium, et entraîne une certaine perte au feu ; ce n'est donc pas un procédé de désulfuration avantageux. Les fontes traitées dès leur sortie du haut-fourneau ne peuvent être améliorées que par un séjour de quelques heures dans un mélangeur ; lorsque cet appareil n'est pas employé, on combat les effets pernicieux du

soufre en augmentant la richesse en manganèse, mais le prix de revient de la fonte est alors d'autant plus élevé que les minerais de fer dont on dispose sont moins manganésés.

L'aciérie utilisera donc des fontes pauvres, si elle marche rapidement et si elle peut compter sur une composition de fonte bien régulière.

FONTES BESSEMER ACIDES	C	Si	Mn	Ph	S
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Marche très rapide (30 coulées par poste)....	3,85	1,48	1,75	n.d.	n.d.
Fontes provenant de minerais manganésifères.	3,75	1,75	3,70	0,06	0,04
	3,50	1,90	3,00	n.d.	n.d.
Marche rapide (20 coulées par poste)........	3,55	1,95	1,60	0,07	0,05
Marche lente (12 coulées par poste)............	3,70	2,10	1,90	n.d.	n.d.

Les fontes Thomas ne sont pas complètement exemptes de silicium ; il serait difficile en effet de produire au haut-fourneau une fonte assez chaude pour n'être pas sulfureuse, et contenant moins de 0,35 0/0 de silicium, surtout avec des minerais alumineux. En augmentant légèrement l'addition de chaux, en utilisant des chaux de bonne qualité, concassées, qui puissent se scorifier rapidement, on n'use pas outre mesure les garnissages des cornues en maintenant une teneur de 0,60 0/0 Si. Certaines usines marchant rapidement peuvent même atteindre 0,80 0/0 sans trop endommager les revêtements ; elles y trouvent, paraît-il, un avantage, grâce à ce que ces fontes silicieuses peuvent être moins manganésées et moins phosphoreuses. La teneur en soufre peut atteindre 0,08 0/0 lorsqu'on lui oppose suffisamment de manganèse ; les fumées et la scorie en retiennent alors une notable portion.

FONTES THOMAS	C	Si	Mn	Ph	S
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Marche très rapide (30 coulées par poste)	3,15	0,35	1,20	1,85	0,050
Marche lente (12 coulées par poste).....................	3,25	0,50	1,70	2,10	0,045
Fonte silicieuse	3,05	0,75	1,05	1,55	0,035
Fonte pour acier à rails	3,20	0,50	1,85	2,05	0,040

PRISE DE LA FONTE AU HAUT-FOURNEAU

La fonte liquide peut provenir de trois sources différentes : hauts-fourneaux, cubilots de seconde fusion, mélangeurs. Les trois systèmes sont en usage, soit séparément, soit combinés deux à deux.

La fonte est prise directement aux hauts-fourneaux lorsque leur nombre est réduit, et qu'on ne fait pas à l'aciérie plus de quinze coulées par poste ; sinon on devrait piquer trop fréquemment le trou de coulée et le creuset serait rapidement rongé. Ce procédé est employé quand on possède trois fourneaux au maximum ; il cause dans la marche de l'aciérie des irrégularités qui seraient préjudiciables à une allure rapide.

Si l'on ne possède qu'un haut-fourneau, la poche à fonte circule entre lui et le convertisseur ; on débouche le fourneau lorsqu'on est certain d'avoir assez de fonte dans le creuset, pour que le métal n'attende pas dans la poche et ne s'y refroidisse. Au besoin, on réchauffe la poche entre deux coulées en y projetant quelques bûches de bois qui s'y enflamment ; d'ailleurs, la couche de scorie surnageant n'est cassée qu'au moment même de la coulée dans le convertisseur, pour conserver autant que possible la chaleur propre du métal pendant le transport.

Quand on a plusieurs hauts-fourneaux, on remplit d'ordinaire deux poches simultanément, de façon à vider chaque fois l'un des fourneaux ; si la seconde poche n'est pas pleine, un des autres fourneaux ou un cubilot fournit le complément. Quelquefois, avec de très petits hauts-fourneaux dont le creuset est d'une capacité inférieure à celle d'une poche, la coulée est faite, pour chaque opération, avec la même poche à d'eux d'entre eux.

Le bain de fonte est toujours surmonté d'une certaine quantité de laitier qu'on ne doit pas introduire dans le convertisseur ; avant de vider la poche, on écrème donc la scorie avec des crochets, et on brise la croûte qui s'est formée près du bec. Elle est toujours fortement sulfureuse, car le sulfure de manganèse s'est séparé du métal malgré la faible durée du transport.

La poche à fonte doit être amenée au niveau du plancher des convertisseurs ; plusieurs dispositions permettent d'atteindre ce but. Lorsque les fourneaux sont éloignés, la voie est établie en remblai ou

sur estacades en rampe, ce qui supprime tout élévateur mécanique; mais, la pente devant rester assez faible, le parcours peut devenir exagéré. Plus fréquemment, la voie de la poche à fonte est au niveau du sol, et aboutit à la plate-forme d'un monte-charges hydraulique. Quand on dispose d'une grue centrale ou d'un pont roulant, la poche est amenée par sa locomotive à proximité de cet appareil qui la porte devant le bec de la cornue.

La prise en charge de la fonte par l'aciérie se fait par pesée contradictoire sur une bascule, après décrassage de la poche ; on admet comme poids la différence entre la poche pleine qui arrive et la tare de la poche vide de la coulée précédente. Pour la comptabilité, il suffit de totaliser en fin de journée les nombres ainsi obtenus. Pour la fabrication, il y a lieu de procéder plus exactement, si l'on suppose qu'une modification s'est produite dans la tare, d'une coulée à l'autre, soit que la poche fût froide, soit qu'elle ait dû attendre ; en ce cas, l'opérateur se fait indiquer la tare exacte après vidange, et poursuit son travail d'après ce renseignement.

La prise directe au fourneau présente beaucoup de simplicité, mais laisse l'aciérie et le laminoir sous la dépendance complète du fourneau. Inversement, un accident quelconque retardant l'enlèvement de la fonte oblige les hauts-fourneaux à vider leur creuset dans la halle de coulée ; au delà de quinze charges par poste, il est plus facile et plus sûr de recourir à l'emploi d'un mélangeur.

PRISE DE LA FONTE AU CUBILOT

Au début de l'existence du procédé Bessemer, la fonte était toujours refondue dans des cubilots ; les aciéries s'étaient d'ailleurs installées auprès des laminoirs qu'elles devaient desservir, et non dans le voisinage des hauts-fourneaux. Actuellement, c'est par exception que l'on pratique la refonte complète de tout le métal mis en œuvre : l'emploi de fonte de première fusion assure une telle économie que seule une obligation absolue doit y faire renoncer.

La refonte au cubilot n'est cependant pas sans avantages, au point de vue technique, pour la conduite de l'aciérie. Tout d'abord, la qualité du métal livré par de gros cubilots est plus régulière que celle qu'on obtient au fourneau, et on peut, en modifiant la charge,

l'approprier à coup sûr aux besoins du moment; en outre, la teneur en soufre est moindre, car le laitier basique du cubilot en a absorbé une grande partie. Enfin la liaison du convertisseur avec l'appareil producteur de fonte est en même temps plus étroite et plus souple : on peut à volonté augmenter la production du cubilot ou la suspendre pendant quelques heures, sans autre dépense que quelques wagonnets de coke.

Frais supplémentaires de la seconde fusion. — Ces avantages sont malheureusement atténués par une importante consommation de combustible, et un notable déchet de métal; les éléments thermogènes précisément, d'une grande valeur pour la conversion, subissent des pertes, qui obligent à employer des fontes plus chaudes, plus riches que ne l'eût exigé le travail en première fusion. A l'inverse de ce qui se passe au haut-fourneau, il ne se forme pas au cubilot un revêtement dû à la scorie même des matières en fusion ; aussi, pour éviter une trop grande usure des briques, doit-on limiter la température; les scories ne peuvent donc être aussi calcaires que le nécessiterait la conduite la plus rationnelle. Il s'ensuit que le fer et le manganèse passent dans le laitier après oxydation, et qu'un déchet se produit également sur le silicium, si la température est très basse ; quant à la teneur en phosphore, elle n'éprouve par contre aucune modification.

En principe, le cubilot n'est pas un appareil à fonctionnement continu; son garnissage doit être fréquemment renouvelé. Les cubilots de fonderie peuvent faire des campagnes relativement longues, mais il faut remarquer que leurs périodes d'activité ne durent que quelques heures, et qu'à chaque mise hors feu le garnissage est rhabillé. Avec une marche continue, le creuset est très rapidement rongé, tant par le métal manganésé que par la scorie ; les périodes d'activité ne sont que de cinq ou six jours, d'où la nécessité d'avoir des appareils de rechange (deux pour une marche continue avec un seul, ou cinq pour trois).

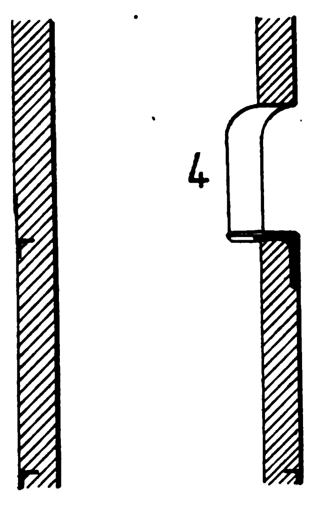
Emploi du cubilot comme régulateur. — La plupart des aciéries possèdent au moins un cubilot, servant simplement de régulateur à la marche des hauts-fourneaux, et d'auxiliaire, lorsqu'il est besoin d'une plus grande quantité de fonte. En ce cas, ce cubilot est en feu d'une façon continue, mais ne travaille réellement qu'aux moments voulus ; il est très facile d'en suspendre la production durant quelques

heures. La construction en serait d'ailleurs justifiée, quand bien même il ne servirait qu'à la refonte du métal coulé aux halles des hauts-fourneaux, pendant les arrêts des convertisseurs. Si l'on compte vingt-six jours de marche par mois pour ces derniers, c'est environ 12 0/0 de la production mensuelle de fonte qui sera à refondre ; repasser celle-ci aux fourneaux expose à des irrégularités dans la descente des charges. Dans cette proportion, la refonte au cubilot, bien qu'onéreuse, est un réel avantage pour les aciéries qui ne peuvent utiliser autrement les fontes coulées en gueusets.

Établissements des cubilots. — La production d'un cubilot dépend du poids de coke brûlé à l'heure, et de la proportion de coke nécessaire pour la fusion de la fonte que l'on y traite. La mise au mille de coke, pour un cubilot d'aciérie, varie avec la température à laquelle on désire obtenir la fonte, avec la nature de celle-ci, la perte en métal admise ; la fonte Bessemer grise exige 100 à 105 kilogrammes de coke par tonne ; 90 kilogrammes peuvent suffire à la fonte Thomas.

Le module servant à l'établissement d'un cubilot est le diamètre au niveau des tuyères (plan de section minima). On doit s'efforcer de brûler aussi complètement que possible le coke de la charge, et, par suite, réduire la teneur des gaz en oxyde de carbone. Il est nécessaire pour cela de créer dans le creuset un contact très intime, mais pas trop prolongé, entre l'air et le combustible ; on devra donc souffler du vent à faible pression, par de larges orifices répartis sur la périphérie du creuset, et réaliser une grande vitesse d'ascension des gaz. La combustion au cubilot est donc vive : une section de 1 mètre carré aux tuyères suffit pour brûler 800 kilogrammes de coke à l'heure dans un appareil à grosse production.

Le profil d'un cubilot est cylindrique dans toute la portion de la cuve qui n'est pas soumise à l'action du métal et de la scorie liquides, et qui ne doit résister qu'à l'usure mécanique. Au voisinage des tuyères, la chaleur et la scorie rongeant le garnissage, on augmente son épaisseur afin de prolonger son existence. La section au niveau des tuyères est plus faible que celle de la cuve ; le raccord se fait au moyen d'étalages assez inclinés, pour éviter les accrochages. Ce rétrécissement est favorable à la bonne répartition des gaz chauds dans la cuve : les fumées n'arrivent pas au contact des parois, où la densité de chargement est moindre ; elles traversent uniformément la région centrale. Il est facile de modifier le profil d'un cubilot,



Cubilot à fonte.

1. Cuve. — 2. Tuyères et creuset. — 3. Sole en sable. — 4. Porte de chargement. — 5. Tuyère principale. — **6. Tuyère secondaire.** — 7. Trou de **crasse. — 8. Trou** de coulée. — 9. Boîte **à vent principale.** — 10. Lunette de **tuyère. — 11.** Boîte à vent secondaire.

Production : 4 tonnes à l'heure.

Diamètre aux tuyères : $1^m,000$.

Hauteur, de la sole à la porte de chargement : $5^m,400$.

d'après l'usure que l'on constate au bout de quelques campagnes ; les parties les plus corrodées sont renforcées proportionnellement à leur usure, tandis qu'on peut réduire l'épaisseur des endroits qui se garnissent. On cherche à obtenir, lors d'une mise hors feu, une usure égale en tous points, afin que, dans la réparation suivante, se produise un déchet de matériaux minime.

La capacité brute du creuset est le volume compris entre la sole et le niveau inférieur du trou de décrassage ; il est rare que cette capacité ne varie pas pendant la durée d'une campagne, car les angles inférieurs, insuffisamment réchauffés par la fonte, se recouvrent d'une couche de scories provenant des parois à demi fondues, englobant du fraisil de coke. Une forte corrosion se manifeste au contraire dans le voisinage des tuyères, particulièrement avec des fontes très manganésées. La contenance du creuset par mètre cube est d'environ 3.600 kilogrammes de fonte; celle-ci occupe simplement les intervalles que présentent les fragments de coke incandescent.

La hauteur du creuset, depuis la sole jusqu'au trou de décrassage, dépasse rarement son diamètre : au delà de cette limite, la base et la sole restent trop froides et se bloquent. Si le volume ainsi disponible ne suffit pas pour conserver une coulée entière, on adjoint au cubilot un réservoir extérieur facile à visiter, dans lequel la formation d'un loup serait sans danger.

Cet avant-creuset est une cuve en tôle garnissée, fixée devant le cubilot, à un niveau inférieur à celui de la sole; le creuset du cubilot est de faible hauteur et reste constamment en communication avec l'avant-creuset, qui porte un trou de coulée. Le sommet de la voûte formant le réservoir antérieur communique avec la cuve du cubilot par un tuyau métallique, pour éviter que des gaz inflammables ne s'y accumulent. L'avant-creuset est moins exposé à un engorgement que le cubilot, car il ne renferme que très peu de scorie ; la fonte qui y pénètre le remplit complètement, de sorte que la chaleur latente contenue par l'unité de volume y est plus élevée que dans le creuset à demi plein de coke. Les cubilots munis de ce dispositif, préconisé par Krigar, sont d'un emploi fréquent lorsqu'il convient de fondre sans interruption, mais leur conduite serait difficile s'ils étaient soumis à de fréquentes variations de production.

Le chargement s'effectue par un plancher situé à 2 mètres au moins au-dessus du niveau des tuyères. La hauteur utile de la cuve est au minimum de $2^m,50$; elle augmente avec la section jusqu'à

atteindre la valeur de quatre diamètres. Une hauteur de cuve exagérée n'offre pas de sérieux inconvénients si l'on brûle du coke dur de bonne qualité ; seule la pression du vent doit être légèrement augmentée. Une porte de chargement suffit, quand le diamètre de la cuve est inférieur à un mètre ; au delà, deux portes opposées sont nécessaires pour une répartition convenable des charges.

La production d'anhydride carbonique est favorisée par une faible pression de vent et une égale distribution des gaz dans l'ouvrage ; la combustion s'effectue ainsi superficiellement avec un excès d'air, qui suffit à la transformation ultérieure de l'oxyde de carbone formé aux endroits les plus chauds où l'oxygène n'abonde point. Le vent doit être soufflé par de larges ouvertures uniformément réparties sur la périphérie de la zône de combustion ; leur section totale varie entre $0^{m^2},125$ et $0^{m^2},250$ pour 1.000 kilogrammes de coke brûlé à l'heure, soit 10 à 20 0/0 de la section de l'ouvrage au niveau des tuyères. On atténue l'usure des garnissages en donnant au vent une pression suffisante pour qu'il atteigne aisément le centre du creuset ; la zône de température maxima est ainsi reportée vers le milieu de l'ouvrage. Avec une pression trop faible, c'est près des parois que se produit la combustion la plus vive : le garnissage en souffre et le cœur reste froid ; des gueuses y descendent, incomplètement fondues, et engorgent le creuset. Une pression trop forte produit un dard à l'extrémité de chaque tuyère, en brûle le nez, laisse des zônes mal chauffées, et donne naissance à beaucoup d'oxyde de carbone. La pression est toujours inférieure à $0^m,50$ d'eau (soit $0^{kg},05$) ; on la règle pour chaque cubilot, suivant les phénomènes que l'on constate pendant le fonctionnement.

On diminue la corrosion au voisinage des tuyères, en augmentant leur nombre ; on divise le vent, et on le répartit plus également, en les plaçant sur deux rangées superposées. Si la distance qui les sépare est supérieure à la hauteur de la zône de fusion, les tuyères supérieures apportent un excès d'air qui complète la combustion du carbone, donne presque exclusivement de l'anhydride carbonique, que la faible température des charges supérieures ne peut plus dédoubler en oxyde de carbone. L'intervalle compris entre les deux rangées de tuyères est égal à un diamètre environ ; la section des tuyères supérieures est deux fois moindre que celle des tuyères principales.

Chaque tuyère est prolongée hors de la cuirasse du cubilot par un porte-vent aboutissant à une boîte à vent annulaire, et muni d'un

registre de réglage. L'arrière du porte-vent, dans le prolongement de la tuyère, est percé d'un trou, pouvant livrer passage aux outils dont on se sert pour détruire les engorgements locaux qui surviennent. Une lunette vitrée, appuyée par la pression du vent contre un châssis à glissières, ferme l'ouverture et permet d'examiner l'intérieur de l'ouvrage au moyen d'un verre bleu.

La boîte à vent est en tôle plutôt qu'en fonte, car celle-ci est lourde et se prête mal aux dilatations; son volume doit être suffisant pour constituer un régulateur de pression, particulièrement quand on utilise des ventilateurs volumogènes du genre Root, produisant des battements répétés. Chaque groupe de tuyères porte une boîte à vent indépendante munie de son papillon.

Deux sortes de ventilateurs peuvent fournir le vent aux cubilots: les uns, ventilateurs déprimogènes, sont basés sur l'action de la force centrifuge; dans les autres, volumogènes, la pression est obtenue par la diminution de volume d'une capacité close à parois mobiles. L'installation des premiers est simple; ils se prêtent facilement à une commande électrique; leur rendement mécanique est assez faible, en raison du frottement de l'air sur les ailettes; le débit, la pression dépendent de la vitesse de rotation; la facilité d'arrêt et de mise en marche les fait souvent préférer aux seconds, quand la pression de refoulement est inférieure à $0^{kg},04$.

Outre les ouvertures destinées au passage des tuyères, la cuirasse porte deux trous, servant, l'un à la sortie du laitier, l'autre à l'évacuation de la fonte. Le trou de décrassage, ou *chio*, est établi à $0^{m},10$ au-dessous du point le plus bas des tuyères; tant qu'il est débouché, la scorie ne peut donc en aucun cas arriver jusqu'aux tuyères et les obstruer; on le dispose entre deux tuyères pour qu'il ne cause pas de perte de vent lorsqu'il souffle, et ne ronge pas la paroi déjà exposée à la corrosion du laitier. Il est prolongé hors de la cuirasse par un couloir briqueté aboutissant au-dessus des cuves de décrassage.

Le trou de coulée est pratiqué au point le plus bas de la sole; comme cette région de la cuirasse est sujette à des percées, elle est souvent formée d'une pièce rapportée, analogue à une porte, que l'on fixe par des traverses et des clavettes; elle porte l'embouchure du couloir à fonte, auquel fait suite un couloir fixe.

La vidange du cubilot, lors de la mise hors feu, se pratique par une baie avec fermeture en tôle clavetée. Le seuil de la baie est au-dessous de la sole; sa largeur permet le passage d'un homme; c'est par là

que pénètrent les maçons pour faire les réparations, et que l'on sort les loups de métal qui se forment accidentellement dans le fond du creuset.

Construction des cubilots. — La cuve du cubilot est presque uniquement soumise à l'action mécanique de la charge; elle n'est pas corrodée par des matières fondues; aussi a-t-elle une durée 10 à 12 fois plus longue que le creuset. On doit pouvoir réparer la partie inférieure du cubilot sans démolir la cuve; à cet effet, celle-ci repose sur un sommier annulaire fixé à la cuirasse par une cornière et des consoles, sans que le garnissage repose sur celui du creuset; on la divise en plusieurs anneaux superposés de 1m,50 à 2 mètres de hauteur, prenant appui chacun sur une cornière rivée à la cuirasse. La cuve est revêtue de briques réfractaires très dures, par suite assez argileuses, capables de ne pas s'écailler ni s'effriter par le frottement de la fonte.

Le creuset est garni de briques alumineuses ou siliceuses, ne devant renfermer tout particulièrement point de traces d'alcalis, comme certaines briques faites avec des feldspaths broyés, au lieu de quartz.

BRIQUES POUR CUBILOTS A FONTE THOMAS

	Pour 100	Pour 100
SiO^2	79,1	72,2
Al^2O^3	17,0	24,9
CaO + MgO	1,3	1,3
Fe^2O^3	2,0	1,1

Ces briques sont moulées suivant la courbure nécessaire pour ne point donner de fausses coupes.

On établit d'ordinaire deux revêtements concentriques ; l'un, extérieur, de 10 à 12 centimètres, n'est pas usé à chaque campagne; dès que l'autre est complètement rongé, on doit procéder à la mise hors feu. Le hourdis se compose de chamotte pulvérisée et d'argile réfractaire crue, mélangées et délayées très clair. On maçonne d'abord la sole, avec des briques réfractaires posées de champ; les parois sont ensuite montées progressivement, par rangées complètes, en réservant les ouvertures nécessaires. Le cadre de la porte de vidange comprend deux piédroits parallèles et un cintre; les dimensions du trou de coulée et du chio sont respectivement : 0m,20 × 0m,15 et 0m,08 × 0m,06. La maçonnerie est jointoyée contre la cuirasse extérieure par

un coulis clair; les joints sont recoupés et les assises croisées, pour que les briques ne risquent pas de s'effondrer, lorsque l'usure a détruit les assises sous-jacentes.

La région des tuyères est la plus délicate, en raison du rôle qu'elle joue et des évidements qui l'affaiblissent. Afin d'éviter le taillage des briques, on fait d'ordinaire les tuyères carrées; chacune est constituée par un manchon en fonte, légèrement conique, placé radialement contre les porte-vent ; cette buse métallique s'use avec la paroi qu'elle soutient; elle résiste mieux que la brique aux chocs des outils et à un envahissement accidentel par la scorie. On les moule grossièrement à l'aciérie même ; c'est donc une très faible dépense.

Les briques employées pour les tuyères sont choisies parmi les mieux cuites et les plus régulières. La zône de haute température s'étend depuis le plan inférieur des tuyères sur une hauteur d'un diamètre environ. C'est cette partie qui est la plus exposée à la fusion, aussi lui donne-t-on en conséquence l'épaisseur maxima; on raccorde cette région à la cuve au moyen de retraits successifs, dont il est inutile d'abattre les angles qui s'écaillent d'eux-mêmes. En cet endroit, où la fonte est pâteuse et collante, on donne aux étalages une inclinaison de 70°; si elle est recônnue insuffisante, on l'augmente lors de la reconstruction suivante.

La sole en briques est recouverte d'une couche de sable gras réfractaire damé, légèrement inclinée vers le trou de coulée ; elle se glace, lorsque la crasse la recouvre, et demeure imperméable au métal.

Avant la mise en feu, on doit sécher la maçonnerie : on allume un feu de bois qui chasse l'humidité extérieure, puis on entretient pendant douze heures un feu de coke qui s'éteint de lui-même. La transmission de la chaleur se fait jusqu'à la cuirasse, dont les rivures laissent échapper la vapeur ; en outre, il est bon d'y laisser de place en place des trous de 10 à 15 millimètres, destinés au dégagement régulier de l'humidité; on évite ainsi que la vapeur n'acquière une tension capable d'écarter les joints et de désorganiser la maçonnerie.

Conduite des cubilots. — En fonctionnement normal, le cubilot reçoit des charges toutes semblables, enfournées régulièrement dès que le niveau des matières s'abaisse dans la cuve. Chaque charge se compose d'un poids constant de fonte; l'allure est réglée par modification des poids de coke et de castine, contrairement à ce qui se passe

au haut-fourneau. La densité de chaque charge est 2.000 à 3.000 kilogrammes de fonte par mètre carré de section ; elle augmente avec cette section. Le poids de coke est calculé d'après la mise au mille moyenne des campagnes antérieures ; le poids de castine ajoutée pour la scorification des cendres du coke est de 150 à 180 0/0 du poids même de ces cendres ; on peut la remplacer par des déchets de chaux, dont la quantité est alors moitié moindre. Le pesage des fontes est fait avec une approximation suffisante dans des wagonnets contenant une, deux ou trois charges ; le coke, dont la densité varie avec l'état d'humidité de l'atmosphère, est mesuré au volume dans des paniers d'osier ; la castine concassée est mesurée aussi dans une petite caisse en bois.

On suit toujours le même ordre de chargement : coke, castine uniformément répandue, puis fonte ; plus la hauteur de chute de celle-ci est faible, moins elle écrasera le coke. Les gueusets sont cassés en fragments ayant moins de 30 centimètres sur chaque face, afin de diminuer les chances d'accrochage par arc-boutement sur les parois.

Une modification dans la charge porte généralement sur le poids de coke ; on le règle de manière à obtenir une fonte assez chaude pour bien couler, sans garnir le creuset, et sans cependant trop ronger les parois ; la nature et l'allure de la scorie, l'examen des tuyères donnent aussi des indications sur l'état intérieur du cubilot.

On opère la coulée de préférence lorsque le creuset est complètement plein, ce qui est rendu visible par des étincelles de fonte projetées par le vent à travers le chio. De temps à autre, il est nécessaire de vider entièrement le creuset jusqu'à l'apparition de la scorie par le trou de coulée ; le vent qui passe alors à travers le coke détruit les garnissages qui peuvent s'être formés. On procède au décrassage à chaque coulée, sauf si le creuset n'a pas été rempli ; le chio ne reste pas ouvert constamment : il est fermé jusqu'au moment où l'on suppose que le niveau de la scorie l'atteint.

L'admission de vent aux tuyères est réglée de manière qu'elles s'usent également ; leur nez doit rester rouge et propre, sans garnissages ni stalactites de matières fondues refroidies par le vent ; on les nettoie avec une pince ou une perche de bois. Si l'une d'elles se refroidit et s'obstrue, on la réchauffe en rapprochant d'elle l'axe de la combustion, c'est-à-dire en la fermant ; peu à peu les matières figées se réchauffent par l'intérieur, s'écroulent et rendent son activité à la tuyère malade.

L'examen de la scorie donne sur la marche du cubilot des renseignements plus précis que ceux fournis par la fonte. C'est dans le laitier que se produisent les premières modifications; une crasse qui coule mal, courte, bulleuse, contenant encore de l'oxyde de carbone et des fragments de coke, indique un refroidissement, que l'on combat par une addition de combustible et de fondant. Le spath fluor et le sel marin ne doivent être employés qu'avec circonspection, quand on juge le cubilot fortement garni ou refroidi par la chute d'une portion du revêtement, car ils corrodent énergiquement les parois. Si le creuset seul se garnit et diminue de capacité, le spath fluor est introduit par les tuyères elles-mêmes.

Un refroidissement brusque, ou auquel on remédie trop tard, produit un accrochage au-dessus des tuyères; les matières seulement ramollies, insuffisamment fluides, se soudent, prennent appui sur la cuve et plus fréquemment encore sur les étalages, et arrêtent la descente. L'augmentation de la charge de coke ne peut pas produire d'effets immédiats; il est indispensable d'agir par la base même du cubilot : on vide le creuset, on arrête le vent, et on laisse les tuyères ouvertes. L'espace libre situé au-dessous de l'accrochage est rempli de charbon de bois enfourné par les tuyères, puis on souffle à faible pression; la combustion du charbon, très active, réchauffe le creuset et rétablit peu à peu la circulation, qui reprend son cours normal lorsque les fortes charges de coke sont parvenues aux tuyères.

L'accrochage peut se produire dans la cuve, bien au-dessus des tuyères. Il est provoqué par l'arc-boutement de gueusets contre les parois, ou par une allure trop chaude qui laisse monter le feu au delà de la zône de fusion. On vide alors le creuset en arrêtant le vent et laissant les tuyères ouvertes ; le feu monte peu à peu davantage, mine l'accrochage qui finit par s'effondrer. Il est prudent de ne pas rester en face des porte-vent, ni au voisinage des portes de chargement, car la descente brusque peut être accompagnée d'un coup de gaz, et de projections par les tuyères. On redonne ensuite le vent à faible pression; la marche est ralentie pendant quelque temps, pour compenser l'irrégularité des charges résultant du décrochement.

Lorsque le trou de coulée a servi une dizaine de fois, sa forme est altérée et il est devenu difficile de le boucher; l'usure ou le garnissage du revêtement peuvent être tels qu'il n'occupe plus la position la plus favorable. On le répare après décrassage et vidange complète du creuset; le bouchage est cassé, refait à neuf, et le trou préparé aussi profondément que possible, comme pour un bouchage neuf.

C'est aux environs des tuyères que la corrosion du garnissage atteint son maximum; c'est également à cet endroit qu'elle est le plus visible. Lorsque l'épaisseur est réduite à 12 ou 15 centimètres, on doit procéder à la mise hors feu. Quelquefois même, par suite de joints mauvais, de briques défectueuses, le creuset est assez profondément usé pour laisser filtrer le métal jusqu'à la cuirasse en tôle, qui rougit et peut être percée. En ce cas, on l'arrose pour la refroidir et on vide le creuset au plus tôt; si la cuirasse cesse de chauffer, on peut en conclure que la fissure était petite, et que le métal l'a comblée en s'y solidifiant; sinon, on met hors feu immédiatement, en surveillant la paroi endommagée, et l'arrosant de temps en temps. Fréquemment des percées se produisent par la porte de vidange; on arrête le métal au moyen de mottes d'argile humide, on vide le creuset et on démonte la porte; le bouchage et le damage derrière cette porte sont refaits à neuf, sans qu'il en résulte d'ordinaire d'autres inconvénients.

La mise en feu exige le chauffage préalable des parois. La maçonnerie étant sèche, on mure le trou de vidange avec des briques en ne laissant qu'une ouverture à la base, par laquelle on allume au fond du creuset une couche de bois sec à longue flamme; on le recouvre ensuite de coke jusqu'à 0m,50 au-dessus des tuyères. La masse entre en ignition, et, quand le feu apparaît aux tuyères régulièrement sur toute la périphérie, on ferme la porte de vidange en la bourrant de terre siliceuse presque sèche; on fait une double charge de coke, puis la cuve est remplie de charges normales, pour lesquelles cependant la proportion de coke est augmentée de 10 0/0. Le trou de coulée et le chio restent ouverts; le vent est envoyé sous pression progressivement croissante; l'allumage se poursuit; une flamme s'échappe par le trou de coulée et chauffe la sole. Lorsque apparaissent les premières gouttes de fonte, on bouche ce trou; la sole est alors assez chaude pour ne pas se garnir au contact des scories, dont elle est séparée par le fraisil de charbon résultant de la combustion du bois. Le chio est ensuite bouché, et le creuset se remplit de fonte ; la première coulée est faite avant que le creuset ne soit complètement plein, de façon à créer, aussitôt qu'on le peut, une circulation de fonte qui achève de réchauffer entièrement la sole. A la deuxième coulée, le chio est débouché et on décrasse complètement; l'aspect de la scorie, la chaleur de la fonte indiquent s'il y a lieu de modifier la composition des charges.

Dès que l'usure du revêtement nécessite la mise hors feu, on cesse

le chargement; la descente continue régulièrement; les gaz, qui ne sont plus refroidis, s'enflamment au gueulard tant que le vent est laissé sur le cubilot. Lorsqu'en regardant par les yeux des tuyères on n'aperçoit plus de gouttelettes de fonte, on coule une dernière fois, on vide le creuset et on arrête le soufflage; la porte de vidange est immédiatement décalée, et le bouchage attaqué au moyen d'une sonde appuyée sur des tréteaux et qui doit être assez longue, à cause du rayonnement que produit le coke incandescent. Le bouchage est découpé, puis le coke extrait du creuset avec des crochets; ce qui peut rester de fonte est également raclé, et le cubilot est abandonné au refroidissement, qu'on peut accélérer par un arrosage à la lance.

Très fréquemment la partie inférieure du creuset peut servir à deux campagnes; les régions complètement endommagées sont seules démolies; si la cuirasse a été percée, on la répare au moyen d'un couvre-joint intérieur.

La perte au feu subie par la fonte pendant la fusion est de 4 à 6 0/0; elle est minima quand la marche est ininterrompue, l'allure chaude, et le laitier calcaire. La consommation de coke, y compris celui qu'on emploie au séchage et à l'allumage, atteint 120 kilogrammes par tonne de fonte liquide; elle dépend aussi de la durée des campagnes et de la rapidité de l'allure.

Un garnissage ayant $0^m,40$ d'épaisseur utile aux tuyères supporte 150 à 200 coulées en allure chaude. La capacité du creuset étant sensiblement égale à la production du cubilot en quarante minutes, on peut marcher cent à cent quarante heures de suite, sans arrêts pour réparations.

Voici quelques résultats obtenus avec des cubilots d'aciéries acides et basiques :

	C	Mn	Si	Ph	S	
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	
Fonte Bessemer :						
Avant refonte..	3,60	1,85	2,10	0,075	0,06	allure très chaude
Après refonte..	3,55	1,70	2,05	0,078	0,05	—
Fonte Thomas :						
Avant refonte..	n.d.	1,60	0,35	2,15	0,05	allure ordinaire
Après refonte..	—	1,35	0,28	2,21	0,04	—

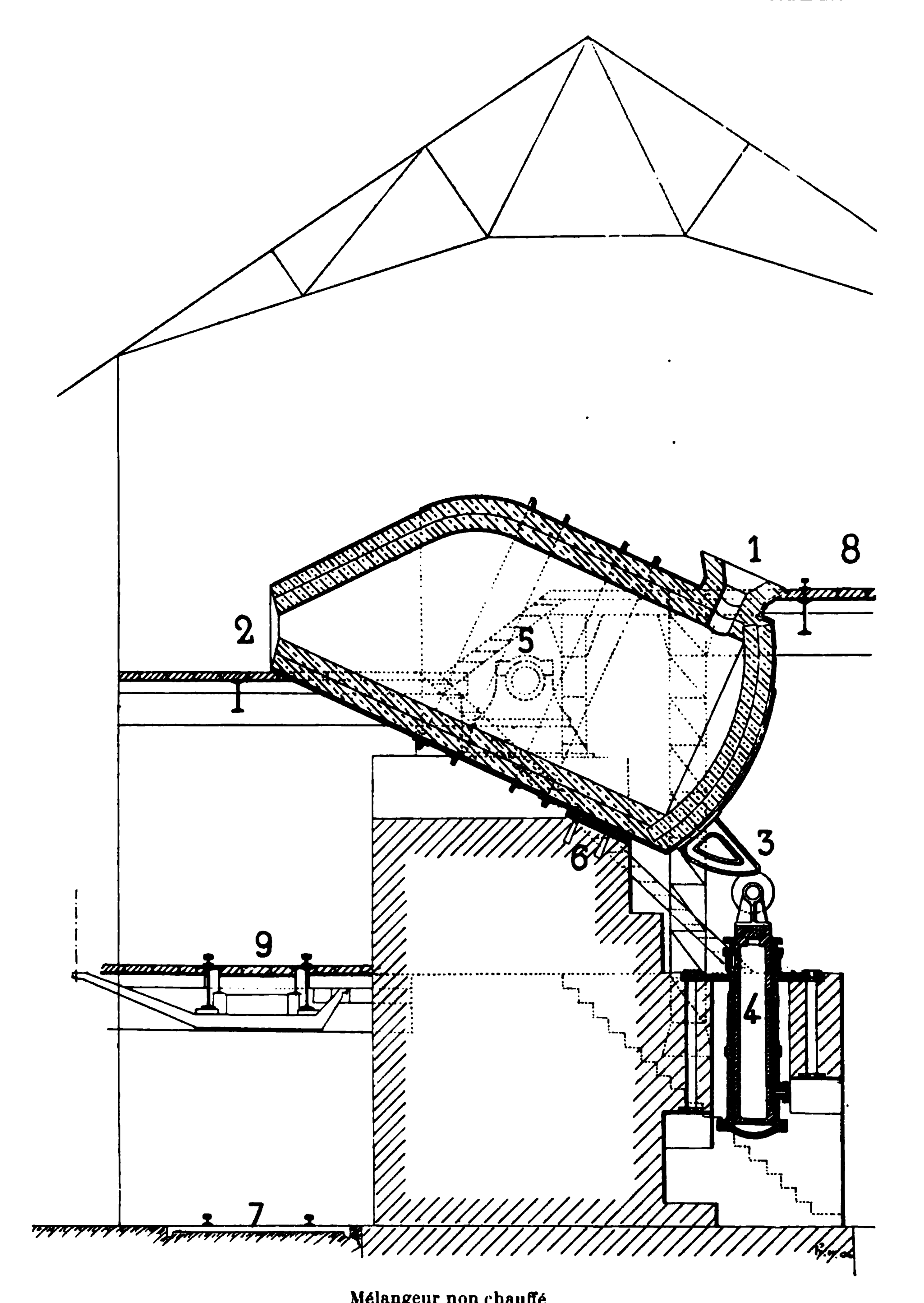
	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS	P^2O^5
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Laitier Bessemer, allure chaude....	46,80	9,95	30,10	0,20	5,80	6,10	1,40	n.d.
Lait^ier Thomas allu^re chau^de	39,80	11,25	27,65	0,55	4,35	12,20	2,50	0,09
Lait^ier Thomas allu^re froid^e.	43,00	12,90	22,00	0,40	4,90	16,30	n.d.	n.d.

PRISE DE LA FONTE AU MÉLANGEUR

Les mélangeurs sont de vastes réservoirs à fonte liquide, chauffés ou non, jouant à l'égard des hauts-fourneaux le rôle des avant-creusets pour les cubilots. La capacité d'un mélangeur doit suffire pour contenir la production de dix heures ; on ne le vide jamais complètement, tant qu'il est en marche, pour ne pas le refroidir.

Le mélangeur fut d'abord employé pour obtenir, avec les fontes de plusieurs fourneaux, un métal de composition moyenne et plus constante, et faire disparaître ainsi les irrégularités que présentent les fontes de chacun des fourneaux pris isolément. Grâce au mélange, les teneurs minima en éléments combustibles, nécessaires pour une bonne conversion, purent être moindres que sans l'emploi du mélangeur. On reconnut bientôt un autre avantage de cet appareil, la désulfuration spontanée de la fonte grâce au manganèse qu'elle renferme. On avait déjà constaté à Hœrde que la fonte était moins sulfureuse qu'à l'ordinaire, lorsqu'on la laissait séjourner dans le creuset du haut-fourneau avant de la couler ; mais cette pratique ne peut être généralisée, à cause des accidents auxquels on s'expose en maintenant le creuset trop plein. Le sulfure manganeux se forme aux dépens du sulfure de fer, et se sépare du métal dans lequel il est peu soluble ; la scorie du haut-fourneau, entraînée au moment de la coulée, s'enrichit de celle qui se forme ainsi, s'oxyde à l'air et répand une odeur d'anhydride sulfureux qui rend parfois pénible le séjour au voisinage des mélangeurs.

Désulfuration au mélangeur. — Cette désulfuration est particulièrement intéressante pour la fonte Thomas, produite à basse tempéra-



Mélangeur non chauffé.

1. Entonnoir de chargement. — 2. Bec. — 3. Appendice de manœuvre. — 4. Cylindre hydraulique. — 5. Tourillon. — 6. Semelle d'appui. — 7. Voie de la poche à fonte, conduisant aux convertisseurs sans passer par le mélangeur. — 8. Voie de la poche à fonte des fourneaux. — 9. Voie et bascule de la poche à fonte des convertisseurs.
Diamètre extérieur, 4m,500.
Capacité, 180 tonnes.

ture, ayant par suite tendance à être sulfureuse. Une aciérie travaillant sans mélangeur demande des fontes très manganésées, tant pour éviter une proportion nuisible de soufre que pour neutraliser les effets de ce qu'il en reste. Or les minerais phosphoreux sont d'ordinaire peu manganésés; c'est pourquoi l'utilisation du mélangeur, permettant de réduire la consommation de minerai de manganèse, entraîne une économie notable.

L'intensité de la désulfuration augmente avec la durée du repos et la teneur en soufre; pour se désulfurer suffisamment, la fonte doit renfermer au minimum 1,5 0/0 de manganèse; si la moyenne des teneurs en manganèse des fontes des divers fourneaux n'atteint pas ce chiffre, on jette dans la poche à fonte des poussières de ferromanganèse, des déchets de spiegel, avant de la mener aux hauts-fourneaux. La désulfuration produit naturellement un appauvrissement en manganèse; il n'en résulte pas d'inconvénient pour la conversion, puisque le rôle qu'y joue le manganèse est réduit à celui de désoxydant.

Des fontes traitées au mélangeur ont présenté les compositions suivantes :

	Mn	S
Fonte Bessemer :	Pour 100	Pour 100
Moyenne des hauts-fourneaux....	2,10	0,090
Après séjour dans le mélangeur..	1,85	0,045
Fonte Thomas :		
Moyenne des hauts-fourneaux....	1,80	0,080
Après séjour dans le mélangeur..	1,65	0,050
Moyenne des hauts-fourneaux....	1,60	0,105
Après séjour dans le mélangeur..	1,50	0,085

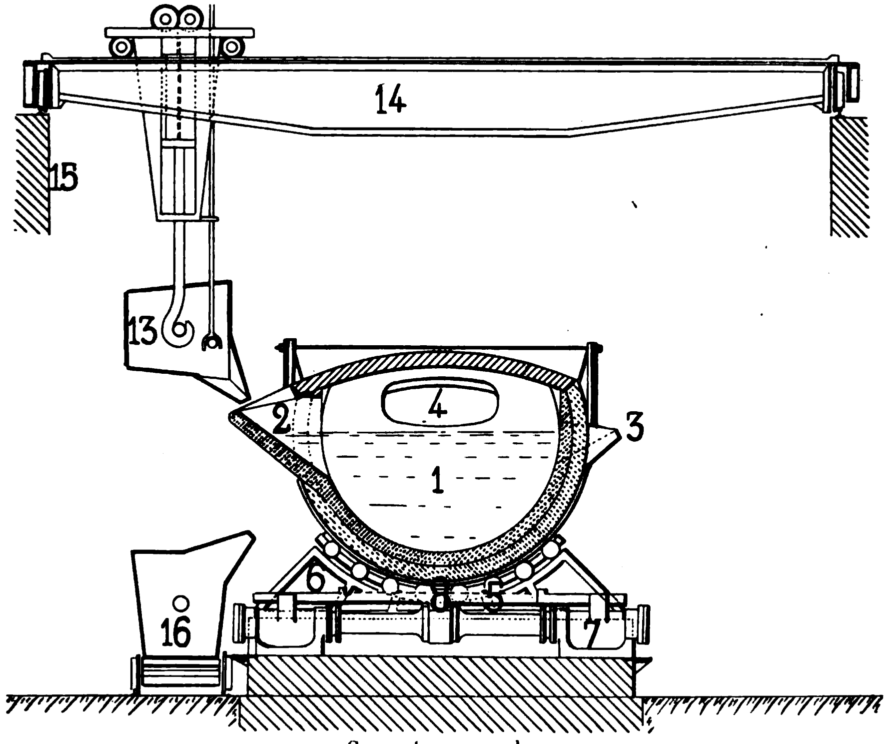
Le temps qu'exige la désulfuration augmente lorsque la fonte est moins manganésée et plus sulfureuse; c'est précisément dans ces conditions qu'elle est à basse température, de sorte qu'à sa sortie du mélangeur elle peut se figer sur le bec; on a vu des appareils mis hors service par suite de la formation lente d'un loup de fonte intérieur. Cet accident est particulièrement à redouter avec les fontes Thomas; aussi les types récents de mélangeurs comportent-ils un système de chauffage au gaz, comme les fours à sole.

Mélangeurs non chauffés. — Les mélangeurs non chauffés ont la forme d'un grand convertisseur, dont la panse serait tournée vers le

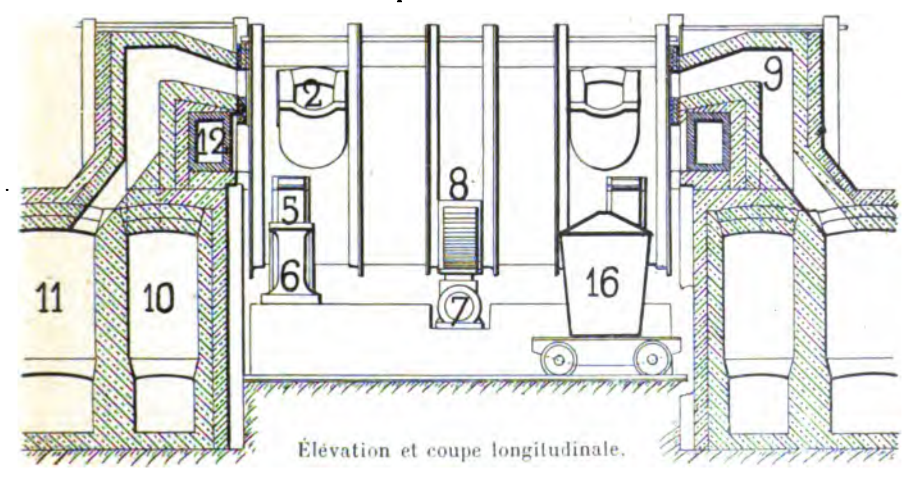
haut; le fond est naturellement plein, et ne porte pas de boîte à vent. Le tout est mobile sur deux tourillons analogues à ceux d'un convertisseur, ou bien porte une charnière sous la panse ; la suspension par tourillons est préférable, car elle permet de plus amples oscillations. Un cylindre hydraulique donne le mouvement ; la tête de son piston porte un galet qui soulève le fond du mélangeur par l'intermédiaire d'un éperon de glissement. Sur le dos, auprès du fond, se trouve un entonnoir par où se fait le chargement de la fonte, qu'un élévateur amène à ce niveau. La coulée est effectuée par le bec, dans la poche d'aciérie qui circule sur une voie au niveau du plancher des convertisseurs.

Afin de mieux assurer la diffusion, on a modifié la forme de l'appareil, en le faisant cylindrique et mobile autour de son axe longitudinal, placé horizontalement; la surface de refroidissement est moindre qu'avec une cornue, et le mouvement de rotation assure un mélange plus complet. La fonte est versée par un entonnoir situé à une extrémité, et elle sort près de l'autre base; les oscillations tendent à faire échapper par le bec les couches inférieures, voisines de la paroi, et qui ont subi justement le séjour le plus prolongé.

Mélangeurs chauffés. — Malgré divers perfectionnements apportés dans la construction et la conduite des mélangeurs précédents, il s'y forme fréquemment des loups de fonte et de scorie, qu'on ne peut faire disparaître qu'après une mise hors service momentanée, quelquefois même une démolition partielle. Les appareils pourvus d'un dispositif de chauffage sont à l'abri de ces accidents. Ils sont analogues à des fours à sole oscillants, avec une sole très creuse pour en augmenter la capacité ; ils s'inclinent en roulant sur une couronne de galets, sous l'action d'un cylindre hydraulique ; les deux têtes sont percées, pour l'arrivée du gaz et de l'air, d'orifices qui, dans la position d'équilibre, viennent se placer en face des carneaux fixes. La cuvette est fermée par une voûte très surbaissée, qui renvoie la chaleur sur le bain, sur la surface duquel plongent d'ailleurs les carneaux de gaz afin de rendre plus efficace l'action de la flamme. Les deux têtes fixes, symétriques, sont en communication avec les récupérateurs à air et à gaz ; des valves d'inversion permettent de changer le sens du courant gazeux. Sur une des faces, à chaque extrémité, sont disposés deux chenaux; le premier, plus élevé, est destiné au remplissage, et le second à la coulée : sur l'autre face, un ou plusieurs becs plus petits servent au décrassage.




Coupe transversale.



Élévation et coupe longitudinale.

Mélangeur chauffé.

1. Mélangeur. — 2. Chenal de coulée. — 3. Bec de décrassage. — 4. Œil assurant l'arrivée du gaz et de l'air. — 5. Galets porteurs. — 6. Semelles. — 7. Cylindres hydrauliques. — 8. Crémaillère. — 9. Carneaux à gaz et air. — 10. Chambres à gaz. — 11. Chambres à air. — 12. Bâche à eau. — 13. Poche à fonte des hauts-fourneaux. — 14. Pont roulant de manœuvre. — 15. Voie longitudinale du pont roulant. — 16. Poche à fonte des convertisseurs.

Diamètre intérieur, 3m,800. — Longueur intérieure, 6m,000. — Capacité, 250 tonnes.

Le revêtement intérieur doit être fait en matériaux très réfractaires et d'excellente qualité ; comme on n'a pas d'appareil de rechange, il faut en réduire autant que possible la fréquence des réparations. Pour les fontes Bessemer, le garnissage est entièrement en briques de silice; il se compose de deux rouleaux superposés, à joints croisés, ayant une épaisseur totale de 35 à 50 centimètres. Les garnissages pour fontes Thomas sont souvent en briques siliceuses ; cependant, les appareils récents sont recouverts d'une enveloppe intérieure en magnésie, sur toute la région susceptible d'être atteinte par le métal et la scorie ; la magnésie se scorifie partiellement et devient inattaquable : ces garnissages sont d'ailleurs presque indispensables pour les mélangeurs chauffés, où peuvent se produire des réactions oxydantes.

Conduite des mélangeurs. — La fonte des fourneaux est amenée par poches, de préférence complètement pleines, et versée aussitôt dans l'appareil, jusqu'à ce qu'il soit rempli ; on évite naturellement d'entraîner la scorie avec la fonte, en écrémant la couche superficielle.

On laisse toujours le mélangeur au moins à moitié plein, sans quoi il se refroidirait rapidement. Afin d'avoir un métal plus propre, on forme au bec un barrage avec des crochets pour retenir la scorie; il est inutile d'en recouvrir la poche, car la fonte se refroidit à peine durant les quelques moments qui séparent la coulée en poche et la coulée dans le convertisseur. Fréquemment, une bascule est installée sur la voie de la poche à fonte, juste en face du bec du mélangeur ; on peut ainsi verser le poids de fonte correspondant exactement au nombre de lingots qu'on se propose de faire, et éviter de produire des bouts de lingots sans emploi ; ce dernier point n'est pas une des moindres économies apportées par l'emploi du mélangeur.

Le décrassage s'effectue à intervalles réguliers, deux ou trois fois par poste. A cet effet, le bec est obturé avec des mottes d'argile qui maintiennent la fonte, pendant que la scorie refroidie est tirée avec des crochets ; on ne conserve qu'une mince couche de crasse pour garantir le métal contre le refroidissement. Dans les mélangeurs à cuvette, ce décrassage s'opère par les becs spéciaux de la même façon que se pratiquait la sortie des crasses dans les anciens fourneaux à dame et à poitrine ouverte.

Les appareils non chauffés courent le risque continuel d'être

bloqués par une solidification de la fonte, soit que celle-ci ait été introduite trop froide, soit qu'elle y séjourne trop longtemps. Lorsqu'un mélangeur commence à se garnir, il faut immédiatement prendre les dispositions nécessaires pour le réchauffer : jeter des bûches de bois flambant à la surface du bain, y couler des fontes très chaudes, ne les y laisser séjourner que peu de temps, rendre la scorie plus fluide par des additions de fondants. Quand la prise du métal est déjà commencée, elle se propage rapidement, et il est rare que l'on arrive à en triompher. Il est évident qu'à ce point de vue les mélangeurs chauffés présentent un avantage considérable ; si la chaleur des gaz ne suffit pas à fondre une masse solide, elle empêche du moins une masse liquide de se figer. Il est inutile de rechercher une température exagérée qui pourrait brûler la voûte ; la flamme est réglée pour rester légèrement oxydante, et favoriser la désulfuration : le sulfure de manganèse s'oxyde partiellement et le soufre s'échappe à l'état d'anhydride sulfureux. La durée du séjour de la fonte dans l'appareil n'étant pas limitée par la crainte de la voir se figer, on peut le prolonger jusqu'à désulfuration complète ; il devient donc permis d'employer, pour une teneur finale en soufre donnée, une fonte primaire peu manganésée.

Lors des arrêts de courte durée de l'aciérie, le mélangeur, qui a été vidé par un travail actif aux convertisseurs, est réchauffé, et reçoit la fonte des fourneaux jusqu'à remplissage complet, sans que l'on ait à craindre que la durée du séjour soit trop considérable ; on peut emmagasiner ainsi la production de dix-huit à vingt-quatre heures. Pour ces diverses raisons, la plupart des nouvelles aciéries possèdent des mélangeurs chauffés.

La mise en service d'un mélangeur n'a lieu qu'après séchage prolongé et chauffage au rouge ; le fait de remplir de fonte un mélangeur insuffisamment chaud expose à un engorgement et parfois à une percée.

Les appareils non chauffés, préalablement séchés avec un feu de bois, sont portés au rouge avec du coke incandescent, dont la combustion est activée au moyen du vent amené par une conduite volante. Quand la température voulue est atteinte, on verse le coke en ayant soin de ne laisser dans le mélangeur aucune trace de cendres ; le nettoyage est très facile lorsque l'amplitude des mouvements permet un renversement presque complet.

Les mélangeurs à cuvette sont mis en feu comme les fours à sole chauffés au gaz ; lors des vidanges complètes ou des arrêts, on

entretient la température en maintenant la circulation des gaz.

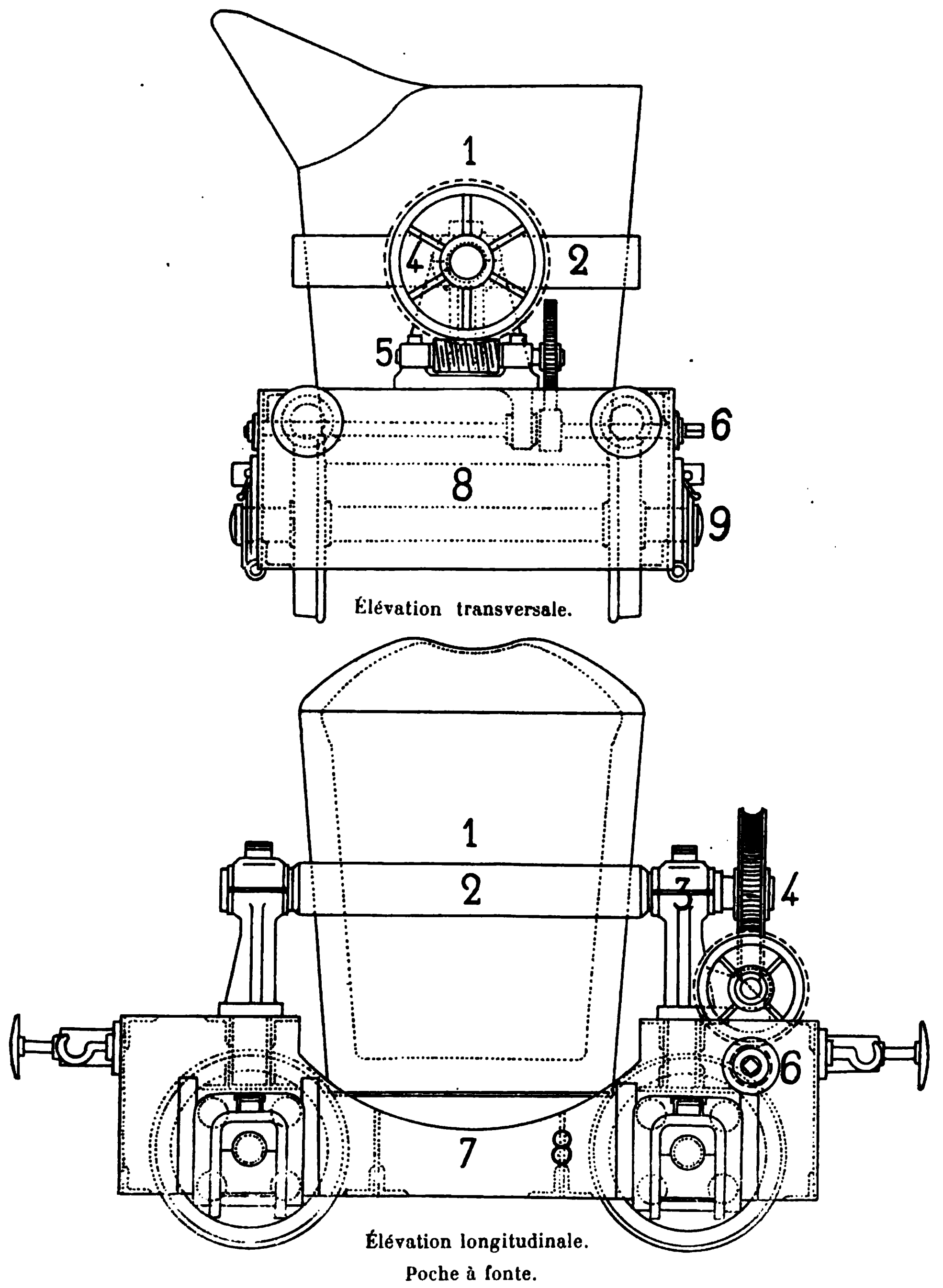
L'emplacement du mélangeur n'est pas nécessairement voisin de l'aciérie, bien que cela soit préférable. La prise en charge de la fonte est faite par l'aciérie d'après les entrées au mélangeur. Si l'on fait usage de cubilots, on compte leur fonte à part, et on la passe aussi au mélangeur ; celui-ci est le magasin où s'approvisionnent les convertisseurs.

TRANSPORT DE LA FONTE LIQUIDE. — POCHES A FONTE

Le transport de la fonte liquide s'effectue au moyen de poches en tôle, garnies intérieurement de briques réfractaires, à section horizontale ronde ou ovale, un peu coniques et munies d'un ou deux becs de coulée. Leur contenance est égale à la charge maxima des convertisseurs qu'elles desservent, afin d'en utiliser toute la capacité. Les revêtements en sable argileux employés dans les fonderies pour des poches faisant un service intermittent seraient ici de trop courte durée.

Deux tourillons, solidement fixés à la cuirasse en tôle, légèrement au-dessus du centre de gravité, permettent les mouvements de bascule, qu'on obtient par l'intermédiaire d'un pignon et d'une vis sans fin en bronze, montée sur un arbre à volant.

Un chariot porteur ou un truck sert au transport des poches ; les chariots sont montés sur essieux simples ou sur boggies, avec suspension à ressorts assez élastique pour éviter autant que possible des ruptures de fusées ; les crochets d'attelage sont également à ressorts. Les flasques sont évidés en forme de croissant, pour permettre un déversement complet de la poche, jusqu'à ce que la génératrice inférieure de la surface conique du bec soit inclinée sur l'horizontale. La poche repose sur le chariot au moyen de ses deux tourillons, qui s'engagent dans des coussinets. Tous les organes mobiles, coussinets, vis, arbre de déversement, sont protégés par des coffres contre les éclaboussures du métal ; une agrafe de sûreté très simple maintient la poche dans la position verticale pendant les transports, pour le cas où la vis sans fin viendrait à n'être plus en prise avec le pignon. Le chariot porte le mécanisme nécessaire pour le déversement de la poche, qui, étant simplement posée sur le chariot, peut être rapidement remplacée après usure.



Poche à fonte.

1. Poche maçonnée. — 2. Ceinture d'attache. — 3. Paliers. — 4. Pignon à denture hélicoïdale. — 5. Vis sans fin. — 6. Commande de la vis sans fin. — 7. Flasques du truck porteur. — 8. Entretoises du truck. — 9. Essieux montés.
Diamètre intérieur, 1m,260. — Hauteur intérieure, 1m,900. — Capacité, 16 tonnes.

La manutention de la poche peut être faite également par un pont roulant, muni d'appareils d'orientation et de déversement agissant par basculement de la poche sous l'effet d'une traction appliquée à la partie inférieure. La présence du pignon denté est alors inutile; des anneaux situés au voisinage du fond servent à attacher les chaînes de manœuvre. Le transport de ces poches s'effectue sur des trucks à châssis plat, sur lesquels elles sont maintenues par des agrafes.

ÉPROUVETTES DE FONTE

Chaque poche pleine amenée aux convertisseurs est accompagnée d'un échantillon ou éprouvette de la fonte qu'elle contient; c'est un barreau coulé en coquille, refroidi brusquement à l'eau, et cassé; la texture de la cassure donne des indications approximatives sur la proportion de certains éléments. Pour que cet examen soit fructueux, il faut que l'éprouvette représente un échantillon moyen de la fonte; on la prend donc au haut-fourneau vers le milieu de la coulée. Au mélangeur, où les irrégularités sont moindres, le moment où a lieu cette prise d'échantillon est indifférent.

La rapidité du refroidissement exerce une influence considérable sur la texture; la trempe empêche le silicium de libérer entièrement le graphite; aussi les bords de la cassure sont-ils toujours blancs, et laissent apercevoir le manganèse. L'importance de l'éprouvette de fonte est d'ailleurs plus grande dans la conversion basique, car c'est d'après son aspect qu'on détermine l'addition de chaux, tandis que dans la conversion acide les additions qui seraient reconnues nécessaires une fois la coulée commencée peuvent être enfournées en cours de marche, dès que l'aspect de la flamme indique leur utilité.

Les corps dont il importe de connaître, même approximativement, la proportion, sont le manganèse, le silicium, le phosphore et le soufre. L'examen de l'éprouvette permet de s'en rendre compte, sauf pour le phosphore. Grâce au silicium, une partie du carbone de la fonte se sépare à l'état de graphite, qui donne à la cassure une couleur grise ou noire. Les fontes Bessemer sont noires, à grain très fin, bordées d'un liséré blanc produit par la trempe, sur lequel apparaissent les facettes miroitantes du manganèse. Dans les fontes

Thomas, une teinte gris clair indique une proportion de silicium voisine de 1 0/0; elles deviennent piquées à 0,55 0/0 et truitées blanches à 0,75 0/0.

Le manganèse est nettement visible sur les fontes blanches ; il leur donne un aspect miroitant, avec des cristallisations à facettes planes, d'autant plus vives et plus larges qu'il est en plus grande proportion. Une fonte Bessemer grise ou noire ne laisse apparaître les facettes manganésées que sur les bords, à moins que sa teneur en silicium ne soit inférieure à 1,5 0/0 ; les facettes sont normales à la surface de refroidissement, et forment autant de stries blanches. Les fontes Thomas sont nettement spéculaires avec 2 0/0 de manganèse, dont la présence à 1,2 0/0 se manifeste par des stries ternes et indistinctes.

Le phosphore est invisible sur la cassure ; mais, comme la majeure partie de celui que renferme le lit de fusion passe dans le métal, on est en droit de compter sur une teneur à peu près proportionnelle à la chaleur chimique de la fonte. Des éprouvettes de fonte Thomas, dont la cassure présente au centre une région peu compacte, tapissée d'aiguillettes ternes, avec une zône colorée en bleu ou en jaune, caractérisent une fonte froide, peu manganésée et peu phosphoreuse.

Le soufre, sans influence sur la texture, modifie sensiblement l'aspect de la peau ; les fontes non sulfureuses ne mouillent pas la coquille ; la surface de la barrette est convexe, avec un léger retassement au milieu, unie et sans piqûres. Avec 0,08 0/0 de soufre, la peau se déchire, présente des pustules creuses ; les bords sont concaves ; — au delà de 0,1 0/0, les phénomènes s'accentuent, les bords deviennent tranchants, la surface fortement concave ; lors de la coulée au fourneau, un nuage d'étincelles se forme, dégageant une odeur d'anhydride sulfureux. Lorsque ces derniers symptômes se présentent, il est préférable de ne pas utiliser la fonte pour la conversion.

CHAPITRE IV

CHAUX D'ACIÉRIE

THÉORIE DE LA DÉPHOSPHORATION

La conversion des fontes phosphoreuses est impraticable en présence d'un garnissage siliceux; elle nécessite au contraire la présence d'une base forte capable de saturer l'anhydride phosphorique qui se produit. Dans la conversion acide, la silice se sature aux dépens des oxydes de fer et de manganèse; mais les phosphates de ces métaux, dont la formation est difficile et peu exothermique, ne prendraient pas naissance avec une rapidité et une intensité suffi santes pour que l'affinage fût complet et économique. La présence d'une base plus énergique est indispensable; c'est la chaux que l'on a choisie, en raison de son bas prix et de ses propriétés chimiques.

Les phosphates calciques sont en effet très stables; l'existence de phosphates fortement basiques non saturés est une preuve de l'affinité de la chaux pour l'anhydride phosphorique, et démontre qu'un excès de chaux assure une déphosphoration complète. Les phosphates et silicates de chaux donnent en outre, à la température de la conversion, des scories très fluides qui, par suite, se séparent aisément du bain par différence de densité, et sont extraites du four sans en garnir les parois. La magnésie, bien que basique, ne présente pas les mêmes propriétés.

La chaux, brassée dans la cornue avec la fonte liquide, ne prend cependant la température du métal que très lentement, à cause de sa faible conductibilité: l'anhydride carbonique et l'humidité qu'elle contient ne se dégagent pas immédiatement; ils existent encore au moment même où la scorification commence, au cœur des fragments de chaux les plus épais.

Au début du soufflage, l'oxydation se porte sur le silicium et le manganèse ; en raison de la grande affinité de la silice pour les oxydes métalliques et des conditions peu propices à une scorification de la chaux, la saturation de la silice se fait presque uniquement par l'oxyde manganeux, et la chaux n'entre dans la scorie que pour une très faible part. Pendant la décarburation, elle s'échauffe, s'écrase, mais n'entre pas en fusion.

La déphosphoration, jusque-là insignifiante, devient intense; l'anhydride phosphorique naissant rencontre la chaux apte à une combinaison rapide grâce à sa porosité ; cette chaux s'imbibe d'anhydride et s'en imprègne complètement. Le lieu de la réaction ne se limite pas à la surface de contact de la chaux solide avec la scorie liquide, mais s'étend à l'intérieur de chacun des fragments qui entrent alors rapidement en fusion. En trente secondes, le bain pâteux a pris totalement l'état liquide. La déphosphoration s'achève alors au contact de la scorie basique et du métal, tant que le soufflage produit de l'anhydride phosphorique et que la crasse reste suffisamment basique.

L'élimination du phosphore exige d'autant plus de chaux qu'on désire la rendre plus complète. Afin d'atteindre, sans oxyder le fer, une teneur de 0,06 0/0 Ph dans l'acier de qualité courante, on doit maintenir dans la scorie assez de chaux libre pour la formation du phosphate basique $P^2O^5,4CaO$, qui renferme en poids :

	Pour 100		Pour 100
P^2O^5	38,7	ou P	16,7
CaO	61,3		

Il faut, pour saturer 100 kilogrammes de phosphore, 368 kilogrammes de chaux chimiquement pure. Afin de faciliter la réaction et de l'accélérer sans oxyder le fer, on emploie une quantité de chaux supérieure à celle qu'indique la théorie.

La déphosphoration est puissamment favorisée par l'addition, dans la cornue, après les six-dixièmes du temps normal du sursoufflage, de 1 à 2 0/0 en chaux du poids de fonte ; cette chaux, ajoutée en menus fragments, augmente fortement la basicité de la scorie. On complète ainsi l'opération sans que la dépense totale de chaux soit aussi élevée qu'en l'enfournant d'un seul coup au début du soufflage.

Le poids de chaux nécessaire pour une bonne conversion est fonction de la qualité de la fonte. Théoriquement, la saturation du

silicium et du phosphore oxydés est seule à considérer dans la détermination de ce poids; alors que pour l'anhydride phosphorique quatre molécules basiques sont nécessaires, la formation du monosilicate suffit à la saturation de la silice. En pratique, on doit tenir compte de l'influence des projections de scories, de la teneur de la fonte en manganèse, de la chaleur de la cornue, du degré de déphosphoration qu'on veut atteindre.

Les chaux n'ont de valeur métallurgique que par la chaux libre qu'elles peuvent fournir, après saturation de leurs propres impuretés; cette valeur décroît rapidement, au point qu'une chaux ayant moins de 88 0/0 CaO disponible est inutilisable. Certains calcaires oolithiques fournissent après cuisson des chaux pulvérulentes et friables; elles exigent que la perte due aux projections, à l'entraînement dans les fumées, soit compensée par une augmentation de la charge primitive; outre une mise au mille plus élevée à la tonne d'acier, elles entraînent un moindre rendement en métal, car chaque particule de scorie calcaire entraîne avec elle la fonte qui l'humecte.

Le déchet à la conversion est également augmenté par les fontes très manganésées; théoriquement, l'oxyde de manganèse devrait saturer la silice, donner une scorie plus basique, et réduire le pourcentage de chaux; mais il n'en est pas ainsi : le poids de la scorie, étant plus élevé en raison de sa richesse en oxyde manganeux, renferme un pourcentage de chaux moindre, qu'il faut compenser par une addition plus forte. De deux fontes à teneur égale en silicium et phosphore, la plus riche en manganèse donnera d'ailleurs une température finale plus élevée, et par cela même demandera plus de chaux.

La température finale du métal et la chaleur initiale du convertisseur, ou pratiquement la chaleur des coulées, interviennent également dans la détermination de l'addition calcaire. L'affinité du fer, du manganèse et du carbone pour l'oxygène s'accroît avec la température plus rapidement que celle du phosphore. De deux coulées présentant à un instant donné la même composition chimique, la plus chaude éprouvera une plus vive oxydation du fer que l'autre, à moins que l'affinité de l'oxygène pour le phosphore ne soit exaltée par la présence d'une scorie très basique qui absorbera l'anhydride phosphorique dès sa naissance et en favorisera la formation. Si, dans une fabrication suivie, l'addition de chaux est réglée à 16 0/0 du poids de la charge, la mise en service d'un convertisseur neuf, par suite moins chauffé, abaissera momentanément le pourcentage de

chaux à 13 0/0; il reviendra au chiffre primitif lorsque la cornue sera en fonctionnement normal.

Il est toujours possible, pendant la déphosphoration, d'augmenter la basicité de la scorie par une addition supplémentaire, si la marche de la coulée semble en indiquer l'utilité, alors qu'on remédiera plus difficilement à un excès de chaux, cause d'une coulée trop froide.

Enfin, la qualité désirée pour l'acier influe également sur la consommation de chaux ; les aciers extra-doux dans lesquels on ne laisse que 0,05 0/0 Ph nécessitent plus de chaux, car, sur la fin de l'opération, la déphosphoration devient moins vive, tant par appauvrissement du bain en phosphore que par saturation de la scorie basique.

Pour un convertisseur en allure rapide (18 à 20 coulées par poste), on compte les additions suivantes, en marche normale :

ACIER FINAL	0,07-0,09 0/0 Ph	0,05-0,06 0/0 Ph
Fonte Thomas à pour 100 : Mn : 1,50; Si : 0,3; Ph : 2,0	14 0/0	15 0/0
Mn : 1,25; Si : 0,6; Ph : 2,1	18 0/0	19 0/0

Pratiquement, on détermine approximativement la teneur minima nécessaire, et on fait, s'il y a lieu, une addition supplémentaire; l'allure de la première coulée indique de quelle façon doivent être traitées les suivantes.

Qualités requises pour la chaux d'aciérie. — Les chaux employées à la déphosphoration doivent présenter des qualités physiques et chimiques particulières. Elles sont faites avec des calcaires purs, blancs, compacts, ne présentant pas de granulations ou de concrétions qui rendent les fragments très réfractaires après cuisson. Les impuretés sont à éviter, parce qu'elles constituent une masse inutile qui refroidit le bain, et qu'elles absorbent, la silice tout particulièrement, une partie de la basicité de la chaux pour leur saturation, sans qu'il en résulte d'avantages dans la conversion. L'alumine donne des scories peu fluides, courtes, collant au bec ; les calcaires magnésiens produisent des chaux impures, qui déphosphorent mal,

favorisent la formation de garnissages au bec ou au dos de la cornue.

Un calcaire, même pur, ne convient pas à la fabrication de la chaux, s'il est trop friable. Sa fragilité s'accentue par la cuisson, et il donne beaucoup de menus fragments et de déchets sans emploi. Les calcaires poreux, gélifs, éclatent au four et sont aussi d'un faible rendement. Les calcaires oolithiques, provenant des dépôts stratifiés d'où l'on tire les moellons de construction, produisent une chaux très friable qui se réduit en poussière au moindre choc; elle est entraînée hors du convertisseur par les fumées, et dépose une cendre noire, causant une triple perte en chaux, métal et chaleur. Les grains dont est formée cette chaux ne se prêtent pas à une bonne déphosphoration; à cause de la dureté de leur enveloppe imperméable, chacun d'eux se recouvre d'une couche de scorie, et n'absorbe l'anhydride phosphorique que très lentement.

La cuisson est menée de façon à laisser dans la chaux une perte au feu de 2 à 3 0/0, sur échantillon broyé, et calciné au moufle de laboratoire. La température est appliquée lentement, progressivement, pour pénétrer à cœur et chasser l'anhydride carbonique des moellons les plus épais : elle reste inférieure à celle qui convient pour la dolomie, qui exige un frittage. Une chaux trop cuite est dure, dense; sa surface, légèrement scorifiée, reste peu perméable; l'anhydride phosphorique s'y combine lentement, s'allie à l'oxyde de fer, ce qui reporte l'oxydation sur le fer et occasionne un sérieux déchet; le garnissage est fortement attaqué par la scorie non saturée; le métal oxydé reste mousseux, nécessite un raffinage plus complet, et donne des lingots soufflés. On atténue ces inconvénients en exposant pendant quelques jours la chaux trop cuite à l'air humide; une hydratation se produit, qui fait fendiller la surface des fragments et leur restitue ainsi une partie de leur porosité.

Plus dangereuse encore est une chaux insuffisamment cuite ou humide : la forte quantité de chaleur absorbée par la décarbonatation ou la déshydratation refroidit le métal et donne fréquemment des coulées trop froides. Si, le soufflage terminé, des morceaux de calcaire surnagent dans la crasse, on les retire avec des crochets, car leur bouillonnement continue à refroidir le bain. Quelques fragments d'incuits, tombant dans la poche à acier, figent la surface extérieure du métal, tandis que son niveau s'abaisse lorsqu'on coule les lingots; une couche mince d'acier peut ainsi se former sur la poche, s'agripper dans les joints des briques et nécessiter la mise hors

service de cette poche. La déphosphoration est d'ailleurs mal assurée par une chaux incuite; le poids net de chaux active est moindre que celui sur lequel comptait l'opérateur, en raison de l'anhydride carbonique introduit et des fragments de calcaire qui ne se dissolvent pas dans la scorie. Le métal est mousseux, par manque de chaux, et par réaction avec l'anhydride carbonique, réaction qui se continue après les additions désoxydantes. Enfin la cornue est fortement corrodée : le niveau de la scorie est marqué dans la panse par un cordon profond.

FOURS A CHAUX

Lorsqu'on peut facilement trouver des fournisseurs de chaux à proximité de l'aciérie, il est préférable d'acheter la chaux cuite, plutôt que de la fabriquer à l'aciérie même. Afin de ne pas être à la merci d'un retard d'expédition, un approvisionnement pour deux jours est nécessaire. La chaux est laissée dans les wagons d'expédition sous un hangar, et ces wagons sont vidés suivant l'ordre de leur arrivée; le magasin de chaux abrite, outre la voie normale des wagons d'expédition, deux voies étroites pour les wagonnets; le sol est dallé avec des plaques en fonte ou en ciment, à un niveau un peu supérieur à celui du sol environnant, pour éviter l'accès de l'humidité.

Lorsque des raisons économiques font décider la construction des fours à chaux au voisinage de l'aciérie, on a l'avantage de pouvoir régler leur marche à volonté et de la subordonner à la consommation des convertisseurs.

Les fours à chaux sont construits hors des ateliers métallurgiques, à proximité d'un stock de calcaire, et réunis à la halle des convertisseurs par une galerie couverte; très fréquemment on les bâtit à la suite de l'atelier de préparation des garnissages.

Les fours employés sont, soit des fours à cuve verticaux, soit des fours horizontaux annulaires.

FOURS VERTICAUX

Construction. — Les fours à chaux verticaux sont des cuves à section circulaire et à profil cylindrique ou légèrement conique;

leur construction varie avec le degré de perfectionnement des appareils qui les desservent, et la facilité du chargement et du défournement.

La cuve est armée d'une enveloppe en tôle de 10 à 12 millimètres; l'épaisseur du garnissage réfractaire est de 30 à 40 centimètres pour un diamètre intérieur de 1^{m},60 à 1^{m},90. A la base de la cuve, la chaux sort par quatre ou six portes vers lesquelles elle est guidée par un cône intérieur central, ayant ses arêtes inclinées à 40°.

La hauteur totale est de 8 mètres; au sommet se trouve un gueulard de chargement ouvert ou fermé. Comme la calcination de la chaux dégage de l'anhydride carbonique, il est dangereux de séjourner au gueulard; aussi les cuves fermées par une cloche offrent-elles plus de sécurité, car les hommes qui seraient indisposés par l'air vicié ne sont pas exposés à tomber dans le four.

On dispose d'ordinaire ces fours de manière à pouvoir les souffler, en cas de besoin, lorsqu'on désire augmenter leur production. Le tirage naturel est cependant suffisant; il procure une marche plus régulière, car la chaleur est plus uniforme, moins violente, et produit rarement des accrochages sur les parois. Les tuyères sont disposées sur une couronne à 1^{m},60 de la sole; elles sont nombreuses et larges, et il est bon, particulièrement pour les fours soufflés, que la zône où elles sont ménagées soit d'un diamètre inférieur à celui de la cuve; à la faible pression de soufflage employée — 5 à 8 centimètres d'eau — le gaz tend à s'élever le long des parois en créant des dards de flamme qui occasionnent des accrochages.

Conduite. — Le chargement se fait par couches parallèles de pierre et de coke; la pierre est préalablement cassée en morceaux réguliers de 4 à 5 kilogrammes : l'emploi de fragments peu épais augmente la rapidité de la cuisson; les déchets de carrière conviennent parfaitement. La charge de calcaire est de 200 kilogrammes par mètre carré de section; celle de coke, de 21 à 23 kilogrammes, ce qui donne une mise au mille de 95 à 110 kilogrammes de combustible. La houille ne convient pas aux cubilots à chaux, car elle distille avant de pouvoir brûler complètement, s'effrite et engorge la cuve. Le petit coke qu'on ne peut utiliser aux hauts-fourneaux est employé avec succès, en mélange avec le coke tout-venant.

La chaux cuite est tirée régulièrement d'heure en heure, par chacune des portes, pour que le feu reste sensiblement au même niveau dans la cuve.

Lorsque la production doit être augmentée, on souffle le cubilot avec un ventilateur, mais à pression réduite ; ce soufflage est d'ailleurs intermittent, pour ne pas fritter la pierre. Le vent est arrêté quinze minutes avant qu'on ne tire la chaux, puis remis, après défournement, pour trente à trente-cinq minutes. On peut augmenter la vitesse de descente jusqu'à ce que la pierre commence à présenter des signes de cuisson incomplète ; à ce moment, on ralentit l'allure par des défournements moins considérables, mais aussi fréquents.

Très souvent, le centre du cubilot forme une cheminée de calcaire qui sort de la cuve insuffisamment cuit ; c'est une conséquence des déformations successives des charges pendant leur descente : le coke gagne le pourtour et la pierre plus lourde se rassemble au centre. A cela le remède est facile ; il suffit de charger le coke au milieu de la section, et d'augmenter la couche de pierre sur les parois.

Un cubilot de $1^m,80$ de diamètre produit 10 à 11 tonnes de chaux par jour à tirage naturel, et 16 tonnes s'il est soufflé.

La cuisson de la chaux peut être également effectuée au gaz, lorsqu'on dispose d'une batterie de gazogènes dont la production est supérieure aux autres besoins ; en ce cas, les portes de défournement restent constamment ouvertes, et servent à l'arrivée de l'air. Le gaz est amené dans une couronne à $2^m,50$ au-dessus de la sole, et distribué par des tuyères de faible diamètre, mais très nombreuses. Comme la zône de combustion est, par ce mode de chauffage, portée à une température très élevée, le garnissage du four est exécuté en briques de magnésie ou de dolomie sur une hauteur de 2 mètres, au voisinage des tuyères. Des regards bouchés par des tampons permettent de sonder le cubilot et de détruire les accrochages. La descente des charges peut être plus rapide que dans le cubilot chauffé au coke, à condition que le calcaire soit en fragments assez minces pour que la décarbonatation soit complète. Des pierres impures, facilement fusibles, se comportent mal au four à gaz ; la forte chaleur les fritte. L'économie de combustible est faible relativement à la consommation des fours ordinaires en combustible solide ; mais le chauffage au gaz évite la nécessité d'un triage de la chaux, qui reste propre et n'est pas souillée par les cendres de coke.

La mise en service et la mise hors feu des cubilots à chaux sont analogues à celle des cubilots à dolomie. Lors des arrêts peu prolongés des convertisseurs, ils ne sont pas mis hors feu : leur production est simplement réduite au minimum indispensable pour

l'entretien du feu, et la chaux qu'ils fournissent pendant ce temps est mise en stock dans un endroit sec.

FOURS ANNULAIRES

Construction. — Les fours horizontaux annulaires sont des fours à grande production; un four simple donne 40 tonnes de chaux par jour; dans les appareils à feux multiples, la production est doublée ou triplée.

Ils se composent uniquement d'un berceau annulaire, circulaire ou ovale, où l'on pénètre par des portes extérieures régulièrement espacées, qui servent au chargement du calcaire et au défournement de la chaux.

L'extrados de la voûte est comblé jusqu'à une aire horizontale, par laquelle se fait le chargement du combustible au moyen de cheminées étroites et nombreuses, symétriquement disséminées dans le berceau. Des carneaux de fumées sont réservés dans l'intervalle de deux portes; ils aboutissent, à l'intérieur de l'anneau, dans un rampant horizontal en relation avec une cheminée centrale. La communication des carneaux avec le rampant peut être interceptée et réglée au moyen de registres métalliques mobiles.

Conduite. — Le four, étant en service, renferme sur le développement du berceau un tronçon rempli de pierre dont une extrémité est cuite, l'autre crue, la région de combustion étant au milieu ; l'enfournement de calcaire se continue sans interruption, ainsi que le défournement de la chaux, ce qui laisse constante la longueur du tronçon de pierre. Le feu progresse avec la même vitesse que l'enfournement, grâce à des dispositifs de tirage. La cheminée est mise en communication avec le carneau situé à 8 ou 10 mètres en avant de l'endroit de la combustion intense, et tous les autres carneaux sont fermés ; l'appel de l'air se forme à travers la chaux cuite, où il s'échauffe avant d'arriver sur le feu ; là il provoque la combustion de la houille nouvellement chargée, puis les fumées réchauffent le calcaire jusqu'au carneau qui les rejette à la cheminée. Dans ces fours annulaires, à l'inverse de ce qui se passe dans les fours à cuve, la pierre reste immobile, et c'est le feu qui se déplace.

L'enfournement du calcaire s'exécute par piles, en ménageant

entre elles des cheminées correspondant à celles qu'on a laissées dans le berceau, et par lesquelles se fera le chargement de la houille. Un réseau de carneaux horizontaux réunit ces cheminées verticales, et conduit les fumées qui les traversent jusqu'à la bouche du carneau de fumée en relation avec la cheminée. Afin d'annuler presque totalement le tirage à travers la pierre, ce qui nuirait au bon fonctionnement du tirage normal à travers la chaux, on sépare de place en place deux piles successives par une cloison en papier fort.

La houille est introduite dans chaque cheminée par l'aire surmontant l'extrados du berceau. Dès que le chargement est achevé, le foyer est fermé par un couvercle; appelé par le tirage, l'air traverse la chaux cuite et se réchauffe à ce contact, achève la combustion des foyers presque éteints, et parvient enfin à la houille fraîche. La masse de calcaire est donc sillonnée de foyers distincts, espacés les uns des autres de 1^{m},10, et qui se déplacent vers la pierre non cuite.

Le défournement s'effectue par l'arrière, dès que la chaux est refroidie; mais il n'est pas nécessairement en relation avec la production de chaux et l'empilage du calcaire. Si la longueur du berceau est suffisante, le défournement peut être suspendu pendant quelques jours, jusqu'à ce que l'empilage l'ait rejoint. C'est là un des avantages importants des fours continus; le stock de chaux peut rester à l'endroit même de sa production et s'y trouve à l'abri des détériorations, mieux que partout ailleurs.

La consommation de combustible est plus élevée que celle des cubilots verticaux : elle atteint 225 à 240 kilogrammes de houille tout-venant par tonne de chaux; le tirage horizontal est en effet plus difficile à obtenir qu'une ascension directe des gaz dans une cuve, où toute la chaleur est utilisée.

La chaux produite est souillée de crasses provenant des cendres de la houille et de la corrosion des parois du four. Elle doit être cassée en fragments, car la constitution des piles et des carneaux de tirage nécessite des moellons à peu près réguliers; les déchets de pierre ne peuvent être utilisés qu'en petite quantité.

La production d'un four annulaire est de cinq tonnes par mètre carré de section et par vingt-quatre heures. La longueur développée de l'anneau est au moins vingt fois la largeur du berceau; un four ayant 3^{m},50 de largeur entre les piédroits aura un développement total de 72 mètres, et sera divisé en douze sections semblables, comportant chacune une porte d'enfournement et un carneau de fumées. Le même four, avec vingt-deux sections, pourra être occupé par deux

feux, conduits à la même allure et restant indépendants l'un de l'autre; la production sera, en ce cas, la même pour chacun des feux, c'est-à-dire doublée.

TRANSPORT DE LA CHAUX

Triage. — La chaux produite dans les fours à combustible solide nécessite, quels qu'ils soient, un triage soigné, qui élimine les loups de crasse formés par les cendres du combustible, les escarbilles incomplètement brûlées, et les incuits. Les fragments sont ensuite cassés à la massette si leur poids dépasse 3 ou 4 kilogrammes, puis chargés dans les wagonnets qui les emportent aux convertisseurs.

Wagonnets à chaux. — Les wagonnets à chaux sont de deux types : les uns se composent d'un truck à voie étroite, portant une caisse à déversement frontal; ils contiennent $0^{mc},85$ à $1^{mc},0$, soit 600 à 750 kilogrammes de chaux. Ils sont remplis au four à chaux ou au magasin, puis pesés par différence avant d'être roulés au-dessus de la cornue pour y être vidés; la charge de chaux correspondant à une opération se compose de plusieurs wagonnets pleins et d'une fraction que les chargeurs estiment au jugé.

Les wagons à caisse fixe sont de plus grande capacité ; on les construit pour la moitié de la charge, ou pour la charge complète d'une opération. Leur vidange s'effectue par des trappes latérales verrouillées, qu'on déclenche lorsque le wagonnet a été amené au-dessus de la trémie; le chargement au convertisseur est bien plus rapide qu'avec des wagons à basculement. Chaque wagon est rempli sur une bascule du poids exactement nécessaire pour la charge, de sorte que pendant que le convertisseur est préparé pour recevoir la coulée, la chaux est pesée et amenée à la trémie de chargement; on gagne ainsi en sûreté et en rapidité.

CHAPITRE V

ÉTUDE PRATIQUE DE LA CONVERSION

CHARGEMENT DU CONVERTISSEUR

Le chargement du convertisseur pour une opération comprend : l'enfournement de la fonte liquide, de produits métalliques solides destinés à régulariser l'allure de l'opération, et de la chaux, pour le procédé Thomas.

Chaux. — Afin d'opérer plus rapidement, on introduit la chaux par déversement direct, dans la panse des convertisseurs, des wagonnets qui l'ont amenée; à cet effet, la halle des cornues est traversée par une passerelle, dont le plancher est à 2 mètres au-dessus du point le plus haut de la circonférence décrite par le bec du convertisseur pendant sa rotation. Cette passerelle porte une voie, quelquefois suspendue, par laquelle sont amenés les wagonnets porteurs de chaux jusqu'au-dessus de trémies placées dans l'axe même des convertisseurs. Ces trémies sont prolongées par un tuyau en tôle disposé de telle sorte que, lorsque l'axe de la partie conique de la cornue est vertical, il coïncide avec l'axe du tuyau ; pour cette position particulière du convertisseur, le tuyau affleure le bec, sans toutefois le toucher, et semble en être la continuation. En vidant les wagonnets dans les trémies, on fait donc passer la chaux dans les convertisseurs.

Additions métalliques solides. — L'opération précédente n'a pas lieu naturellement dans le procédé acide; mais les méthodes de chargement des métaux sont semblables dans les deux procédés. D'après l'aspect de l'éprouvette de fonte, l'opérateur juge quelle sera l'allure probable de la coulée ; si cette allure doit être corrigée,

il le fait avant le chargement de la fonte. Pour les opérations qui semblent devoir être trop chaudes, on ajoutera des chutes d'acier ou des gueusets de fonte, dont la fusion absorbera l'excès de chaleur; pour des opérations trop froides, les additions seront des alliages manganésés ou siliciés. Comme le choc que produirait leur chute trop violent sur les parois pourrait endommager le garnissage, ils sont chargés lorsque le convertisseur est amené dans la position horizontale, le bec étant à la hauteur du plancher. L'enfournement est analogue à la charge d'un four à sole pratiquée à la main ; on se sert pour ce travail de palettes ou de petits chariots de poids réduit. Sitôt l'enfournement terminé, la cornue est redressée pour que ces additions gagnent le fond, et ne forment pas obstacle au chargement de la fonte liquide.

Fonte. — A l'origine du procédé Bessemer, les cubilots surélevés au niveau des cornues étaient réunis, pour la coulée, avec le bec des convertisseurs par un chenal mobile qui y conduisait la fonte directement, sans l'intermédiaire d'une poche. Le poids de fonte ainsi chargée ne pouvait être connu qu'approximativement; de plus, la coulée était longue à cause du grand développement des chenaux. L'emploi de la fonte de première fusion a fait abandonner cette pratique.

Actuellement, la fonte est amenée dans une poche jusqu'aux convertisseurs, qui ont préalablement reçu les additions solides ; le bec de la poche a été réparé avec de la terre grasse, ainsi que celui de la cornue, pour que le jet déversé reste plein et ne produise que peu d'éclaboussures. Les deux becs se recouvrent, et la poche est lentement inclinée; simultanément le convertisseur s'abaisse peu à peu, jusqu'à vidange complète de la poche. Des gouttelettes de métal rejaillissent quelquefois, tombent et se solidifient sur le dallage en fonte, où on les recueille.

On ne pratique pas toujours le versement direct : un chenal oscillant placé à proximité du bec de la cornue sert d'intermédiaire entre elle et la poche ; ses incurvations, ses bords élevés dirigent les remous et évitent les éclaboussures. Il est préférable de s'en passer et d'entretenir convenablement les becs des appareils.

S'il semble nécessaire au cours du soufflage de faire des additions solides, on abaisse la cornue horizontalement, et on arrête le vent pour les enfourner. C'est généralement de la chaux, des chutes d'acier qui sont ainsi rechargées; on emploie pour la chaux une

pelle ordinaire dont la contenance sert de mesure (5 à 6 kilogrammes). Quand, au contraire, il est nécessaire d'ajouter des éléments thermogènes, l'arrêt du soufflage produirait un effet inverse de celui qu'on en attend; aussi, comme leur poids est faible, on les ajoute sans suspendre l'opération. Le bec de la cornue est légèrement rapproché de la passerelle supérieure, sans que la flamme puisse l'atteindre; et de là on projette les additions dans la panse au moyen d'un petit couloir incliné. Si même la passerelle à chaux est suffisamment éloignée du bec pour ne pas être endommagée par la flamme, les additions de fontes sont préparées sur le bord de la trémie, puis la cornue, un instant renversée, reçoit les fragments poussés avec un crochet; aussitôt après on lui rend sa position normale de soufflage.

OPÉRATION BASIQUE. — ALLURE NORMALE

Levée du convertisseur. — La cornue est couchée horizontalement; elle a reçu sa charge complète en chaux, fonte liquide et produits métalliques solides accessoires destinés à régulariser l'allure de l'opération. Le vent, envoyé dans le convertisseur par la boîte à vent, chasse tout d'abord les poussières de chaux, les menus fragments qui se sont formés pendant le chargement. Quand la pression de l'air dans la conduite est suffisante, et que la soufflante a atteint sa vitesse de régime, le convertisseur est relevé dans la position de soufflage. La fonte envahit peu à peu le fond perforé, s'oxyde immédiatement; la flamme devient visible au moment où le vent rencontre le métal. Des chaux légèrement humides et pulvérulentes produisent fréquemment, à cet instant, une violente explosion accompagnée d'une flamme très vive, due à la décomposition instantanée de l'humidité au contact du fer; l'hydrogène formé s'enflamme au bec, et y produit une température suffisante pour que le spectre du calcium apparaisse d'une couleur rouge rubis.

Combustion du silicium. — En raison des différences considérables entre les proportions des éléments combustibles du bain, l'oxydation ne suit pas exactement l'ordre correspondant aux affinités chimiques, et le fer entre immédiatement en combustion : du sesquioxyde se forme, mais l'excès de fer métallique le réduit en protoxyde, qui reste dissous dans le bain, à moins que son point de saturation ne

soit dépassé. En ce cas, l'excès de protoxyde s'unit à la scorie ; celui qui est dissous dans le métal est presque immédiatement ramené à l'état métallique par les réducteurs, alors qu'une nouvelle proportion de fer brûle ; de sorte que la teneur du métal en protoxyde de fer reste sensiblement constante.

Au début du soufflage, les réducteurs les plus énergiques sont le silicium et le manganèse ; la combustion du premier, très exothermique, est rapide : après deux minutes de soufflage, il n'en subsiste que des traces. Une notable partie du manganèse s'oxyde également dès le début, surtout si la teneur dans la fonte est élevée ; cette oxydation est d'ailleurs moins intense lorsque les coulées sont très chaudes dès le début, car la combustion du carbone, devenant alors rapidement prédominante, protège les autres corps contre les atteintes de l'oxygène.

La scorie naissante est formée de la silice et de l'oxyde de manganèse, avec un peu de protoxyde ferreux ; elle reste très pauvre en chaux, car cette base, à l'état solide et insuffisamment chaude, se prête mal à toute combinaison. Par contre, le garnissage est usé lorsque la fonte est fortement silicieuse, sans être cependant riche en manganèse, dont l'oxyde ne suffit plus alors à saturer la silice naissante.

La flamme est presque uniquement composée d'azote et d'oxygène non combiné ; elle est d'autant plus riche en oxygène que la température initiale est plus faible, car l'oxydation, moins intense, laisse échapper plus d'oxygène inactif. La coloration est rose pâle, mais la flamme reste transparente ; les bords en sont bleus ou mauves. Cette couleur bleue est due probablement à la présence de l'oxygène porté à haute température, et elle ne ressemble en rien à celle de la flamme d'oxyde de carbone. La longueur de la flamme est très réduite ; elle est droite comme un dard de chalumeau, avec des contours bien nets ; elle ne reste ainsi que deux minutes au plus, à moins que la coulée ne soit très froide, car la décarburation ne tarde pas à la modifier.

Les fumées entraînent des particules métalliques, qui s'enflamment à l'air avec bruit, en étincelles jaunes ; ces projections sont de la fonte presque pure que le courant gazeux entraîne par saccades : des bouffées de gaz prennent naissance dans la cornue, soit par suite d'une réaction plus vive en un point donné, soit plutôt par usure d'une des tuyères dont le nez se creuse en entonnoir, ce qui communique aux molécules environnantes des mouvements giratoires qui les chassent hors du bain.

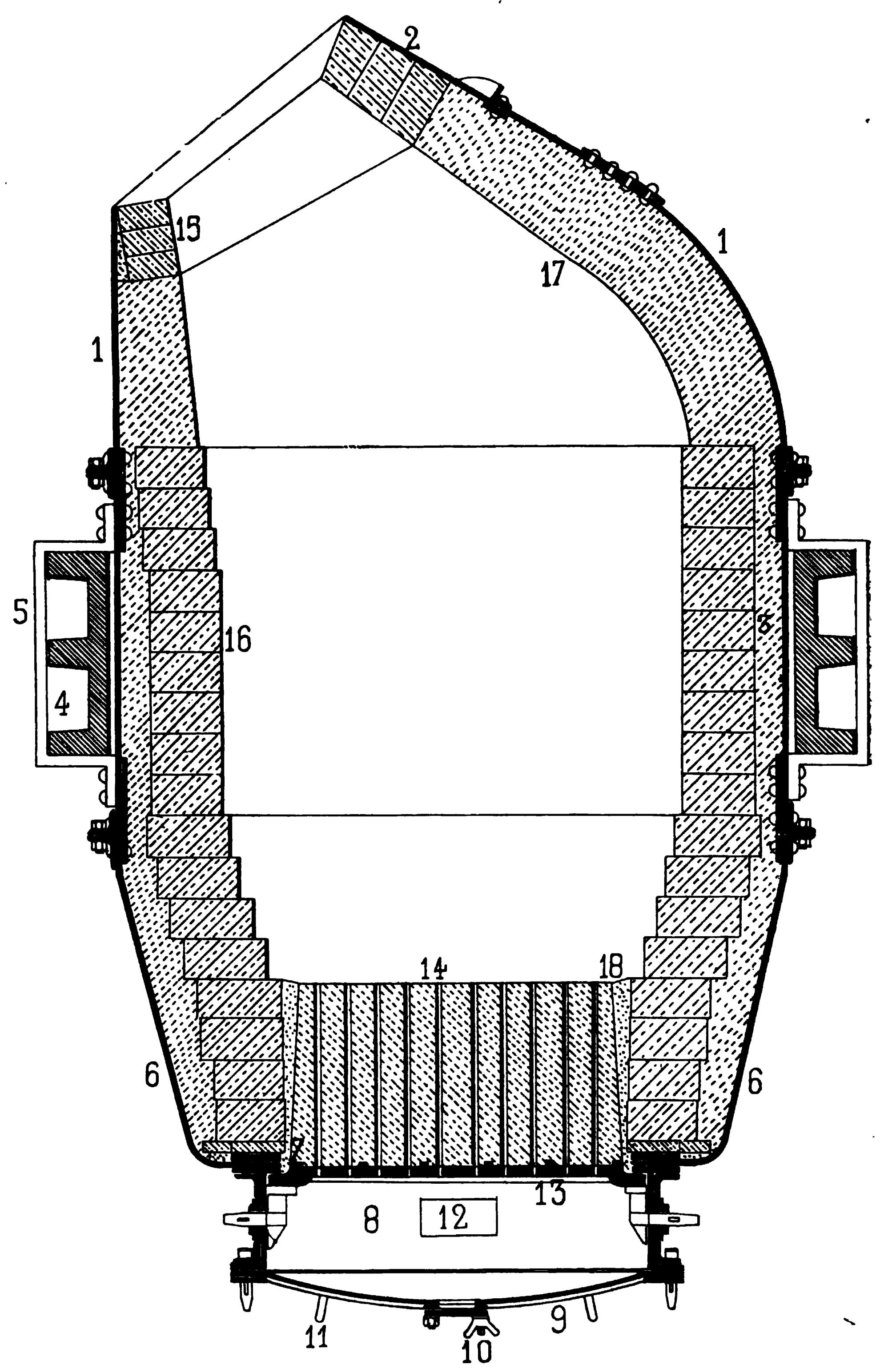
Ces explosions locales se traduisent par des grondements plus sourds, qui se détachent sur le sifflement de la flamme; la cornue, immobile, n'est pas secouée par des soubresauts, tant que le métal suffisamment carburé conserve sa fluidité.

Combustion du carbone. — La combustion du carbone modifie ces phénomènes: c'est, avec le soufre, le seul corps qui donne, en brûlant, des produits gazeux, oxyde de carbone et traces d'anhydride carbonique. Par suite du grand excès de fer relativement à l'oxygène, le carbone s'oxyde incomplètement, produisant presque exclusivement de l'oxyde de carbone; l'anhydride carbonique qui peut s'être formé au nez des tuyères est réduit en oxydant le bain.

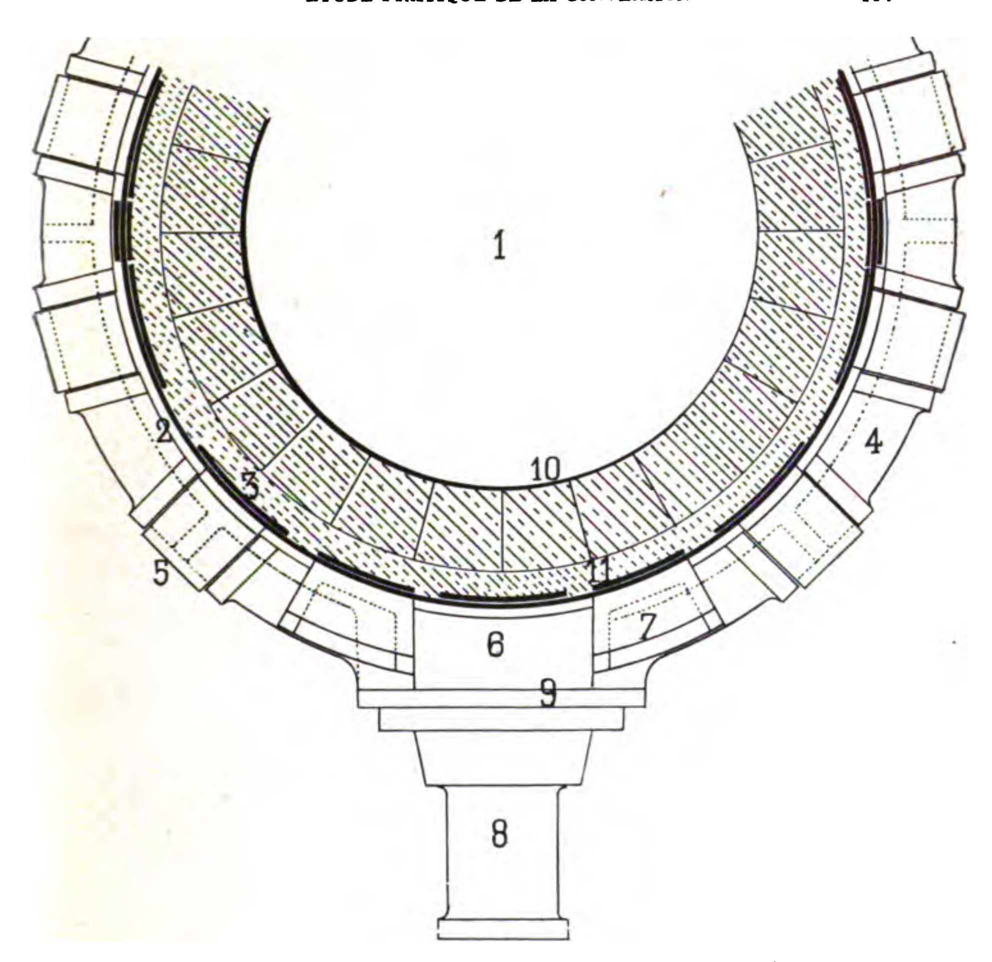
L'affinité du carbone pour l'oxygène est assez intense pour que la décarburation, une fois commencée, soit la seule réaction qui se produise tant que le bain renferme plus de 0,15 0/0 de carbone. Le manganèse s'oxyde fort peu, et le phosphore diminue en proportion minime; le métal ne subit donc pas d'autre modification chimique qu'une décarburation régulière et rapide. Le poids d'air assez élevé qu'exige la transformation fait que la température s'élève peu, car la chaleur dégagée est employée à échauffer cet air; aussi le métal, dont le point de fusion s'élève grâce à la modification de sa composition chimique, devient-il pâteux lorsque sa teneur en carbone descend au-dessous de 0,6 0/0 : il est nécessaire à ce moment d'augmenter la pression de l'air injecté, pour vaincre sa résistance. Le phosphore joue un rôle important dans la fluidité du métal; la propriété qu'il communique aux fontes de moulage, de prendre l'empreinte exacte des moules grâce à une parfaite liquidité, se retrouve, dans la décarburation, pour le fer phosphoreux liquide; sans la présence du phosphore, l'affinage serait presque impossible à cause de la consistance du métal à la température de la décarburation.

La composition de la scorie change peu : le bain ne lui apporte pas de nouveaux éléments; seule, la chaux, triturée avec le laitier, s'en imprègne à la fin de la décarburation; la scorie est presque solide et ressemble à du sable fortement humecté d'eau; en cet état, elle sera très apte à absorber l'acide phosphorique pendant la déphosphoration.

La décarburation augmente la quantité des gaz qui se trouvent à la surface du bain, et élève la pression dans la panse; au bec, la flamme s'allonge et peut atteindre 6 mètres. L'oxyde de carbone



Convertisseur basique à fond conique. — Coupe verticale.



Convertisseur basique à fond conique. — Coupe horizontale.

1. Fond du convertisseur. — 2. Cuirasse de la partie cylindrique. — 3. Fourrures d'attache. — 4. Ceinture en fonte. — 5. Etriers d'attache de la ceinture. — 6. Embase carrée des tourillons. — 7. Equerres de centrage. — 8. Tourillon à vent. — 9. Frette d'assemblage. — 10. Brique de dolomie. — 11. Pisé de dolomie.

Convertisseur basique à fond conique (coupe verticale).

1. Cuirasse de la panse et du bec. — 2. Tôle bavette. — 3. Cuirasse de la partie cylindrique. — 4. Ceinture en fonte. — 5. Etriers d'attache de la ceinture. — 6. Cuirasse de la partie inférieure. — 7. Couronne d'attache de la boîte à vent. — 8. Boîte à vent. — 9. Plaque de fond de la boîte à vent. — 10. Regard de la plaque de fond. — 11. Poignées de manœuvre. — 12. Buse de tuyau de vent. — 13. Plaque support de fond. — 14. Fond à trous. — 15. Brique alumineuse. — 16. Brique de dolomie. — 17. Pisé de dolomie. — 18. Joint coulé en dolomie et goudron.
Diamètre intérieur, 2^{m},350.
Capacité, 16 tonnes.

formé dans le bain se combine dans la panse avec l'oxygène inactif qui n'a pas encore réagi ; la surface extérieure de la colonne de fumées s'enflamme à l'air, rend la flamme opaque, très brillante, à bords dentelés, et ces explosions secondaires amènent de l'air au centre même du jet de fumées, qui s'élargit à la sortie du bec en éventail irrégulier. La couleur, d'abord jaune orange, s'avive progressivement pour devenir presque blanche, teintée de reflets vert pâle à la fin de la décarburation.

A cet instant, le bruit est devenu intense ; un ronflement sonore laisse à peine percevoir les explosions intérieures ; la charpente de la halle vibre ; la cornue se balance dans le jeu que lui laissent les crémaillères ; le niveau du bain s'élève dans la panse, comme une émulsion.

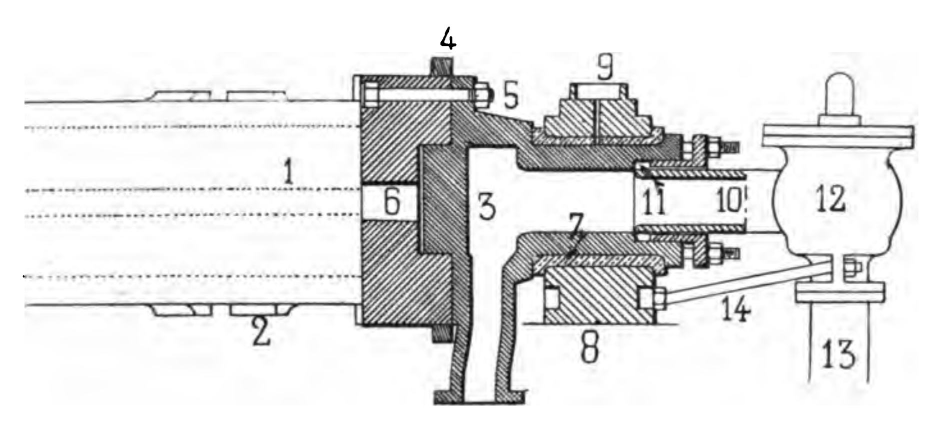
Durant cette période, les projections ne sont plus métalliques ; c'est la scorie insuffisamment liquide, des grains de chaux non dissous, qui s'envolent avec le vent, et se déposent au loin en poussières noires.

Fin de la décarburation. — Les caractéristiques de la décarburation atteignent leur maximum d'intensité à la fin de la période, de sorte qu'elles cessent brusquement dès que le carbone est à peu près complètement éliminé. Le bain se compose alors de fer phosphoreux et de chaux portée au rouge, écrasée, sans consistance ; la combinaison du carbone, devenant difficile par suite de sa faible quantité, produit des chocs violents accompagnés de bruits sourds, au milieu du ronflement affaibli de la flamme.

L'aspect au bec change ; les fumées ne renferment plus d'oxyde de carbone, mais seulement de l'azote assez chaud pour être lumineux, et donner une flamme courte, conique, peu éclairante. Le changement est aussi brusque qu'il est profond : en moins de dix secondes, la modification s'est produite. Comme ce point est très important pour la conduite de l'opération, on a recours, pour bien le saisir, à des observations plus rigoureuses.

La flamme est assez chaude pour permettre l'examen spectroscopique des vapeurs qu'elle renferme. Les gaz donnent un spectre continu, sur lequel se détache, comme dans toutes les combustions, la raie jaune du sodium ; pendant toute la décarburation, le spectre présente en outre, dans le vert, quatre raies noires renversées qu'on attribue à la vapeur de carbone ; elles prennent naissance successivement, et disparaissent de même ; la dernière cesse d'être visible

juste au moment où la flamme tombe. L'emploi du spectroscope permet donc de mieux préciser ce point, dans le cas où des circonstances particulières (fumée épaisse avec une cornue nouvellement maçonnée, bec de dimensions trop larges) empêchent qu'on ne l'observe facilement à l'œil nu.



Convertisseur basique à fond conique. — Coupe verticale du tourillon à vent.

1. Ceinture. — 2. Nervures maintenant les étriers de calage. — 3. Tourillon à vent, en acier, et calé à chaud sur la ceinture. — 4. Frette d'assemblage. — 5. Boulons d'assemblage. — 6. Embase de tourillons. — 7. Coussinet en bronze. — 8. Palier. — 9. Chapeau. — 10. Buse fixe à vent. — 11. Garniture d'amiante. — 12. Soupape de retenue automatique. — 13. Tuyau de vent. — 14. Tirants d'attache du tuyau de vent.

Combustion du phosphore. — La déphosphoration ne peut se produire qu'après départ complet du carbone : en effet, si, malgré la vive affinité de l'oxygène pour le carbone, l'anhydride phosphorique prend naissance, il sera immédiatement réduit par le carbone qui reste dans le métal, et le phosphore sera régénéré. Il est donc impossible d'appliquer au procédé basique le mode opératoire, fréquemment employé dans la conversion acide, de la décarburation incomplète. Il faut au contraire poursuivre le soufflage après transformation intégrale en fer fondu ; c'est de là que vient le nom de sursoufflage appliqué à la période de déphosphoration.

Cependant, en raison de la rapidité des réactions, la déphosphoration commence, très faiblement il est vrai, dès que la teneur en carbone est inférieure à 0,4 0/0 ; à ce moment, le pouvoir réducteur du carbone disséminé dans le bain est trop faible pour pouvoir s'opposer énergiquement à toute oxydation du phosphore.

Pendant la période de déphosphoration intense qui suit le départ du carbone, le métal perd une partie de son manganèse, que le car-

bone avait jusque-là protégé, et le fer même s'oxyde fortement. La température s'élève rapidement, rendant au métal sa fluidité.

La scorie, encore solide au commencement de cette période absorbe avidement l'anhydride phosphorique; le phosphate calcique basique entre aussitôt en fusion, de sorte qu'en moins d'une minute la scorie devient complètement liquide, sauf les fragments de chaux incuits, s'il y en a. Son action sur l'anhydride phosphorique est encore exaltée par ce contact plus intime, et le phosphore de la fonte peut être totalement éliminé.

La température atteignant 1.700° et plus, l'affinité de l'oxygène pour les divers éléments du bain ne fait qu'augmenter, si bien qu'au bec on n'a que de l'azote presque pur; ce gaz chaud non combustible apparaît en une flamme courte, pointue, peu éclairante dans ses reflets rouges; elle est bientôt masquée par des nuages bruns formés d'oxydes de fer finement divisés, entraînés par le vent. Ces nuages se produisent lorsque l'oxydation du fer est plus intense que l'action des réducteurs brûlant aux dépens du protoxyde; le point de saturation de l'oxyde ferreux dans le métal liquide est dépassé, et l'oxyde naissant passe dans la scorie ou s'échappe avec l'azote.

La formation des nuages de fumées est en fonction de la température ; leur apparition est d'autant plus rapide que la coulée est plus chaude. Normalement les fumées d'oxydes ne sont visibles qu'après le premier quart de la déphosphoration; leur allure, leur opacité, sont des indices certains de la température de la coulée. Une partie de l'oxyde ferreux produit dans le soufflage se combine avec la scorie, d'autant plus avidement que la température est moindre, car la tendance à la formation du phosphate ferreux s'accroît beaucoup moins rapidement avec la température que la chaleur de saturation de la chaux par les acides, silice ou anhydride phosphorique ; c'est pourquoi, dans les coulées froides, les nuages d'oxydes sont peu abondants, le protoxyde restant uni à la scorie.

Si la couleur des fumées varie avec la chaleur de l'opération, leur composition en est presque indépendante. L'oxyde de manganèse, peu soluble dans le fer fondu, s'en sépare immédiatement pour se combiner avec la scorie, à moins qu'il ne soit réduit par le phosphore; on en trouve très peu dans les fumées. La différence de coloration dépend du type d'oxyde de fer et de la température de sa formation; le protoxyde qui se sépare du bain s'oxyde à l'air pour donner des produits plus oxygénés, intermédiaires entre FeO et

Fe^2O^3, et voisins de l'oxyde salin FeO,Fe^2O^3. Quand les fumées contiennent peu de protoxyde, c'est-à-dire dans les coulées froides, sa transformation, plus complète, se rapproche de Fe^2O^3, ce qui donne au nuage une couleur jaune ocreuse; dans les coulées plus chaudes, la proportion d'oxyde dans la fumée étant plus grande, l'oxydation à l'air s'effectue pour une même surface de la colonne de fumée, sur un poids supérieur de matières, et reste par suite moins complète : d'où la couleur brune de Fe^3O^4. Le manganèse contribue aussi à cette coloration plus sombre.

Fin de la déphosphoration. — Il serait inutile de poursuivre le sursoufflage au delà du degré voulu de déphosphoration, c'est-à-dire d'abaisser la teneur en phosphore au-dessous de 0,055 0/0 dans le métal final ; il en résulterait une perte de fer importante. En outre, l'oxydation de celui-ci, pratiquée à la fin du sursoufflage, ne suffit pas à entretenir la température du bain, qui, par suite, se refroidirait ; les coulées trop longtemps soufflées deviennent presque certainement des coulées froides.

Aucun signe n'indique la fin de la déphosphoration aussi nettement que celle de la décarburation. Théoriquement, toute l'oxydation se portant à ce moment sur le fer, les nuages bruns doivent augmenter d'intensité. On peut se baser sur ce fait ; en observant attentivement la flamme, on la voit s'obscurcir, devenir moins brillante ; des flocons épais d'oxydes métalliques se détachent vers la périphérie; la flamme se divise en deux ou plusieurs langues, séparées par un jet obscur.

Ces indications sont insuffisantes, néanmoins, pour des coulées d'allure anormale ; aussi est-il indispensable que l'opérateur se base sur des observations plus sérieuses. La meilleure est celle d'un échantillon du métal, pris à un moment que l'on juge voisin de la déphosphoration complète.

La teneur en phosphore de la fonte Thomas variant peu d'une coulée à l'autre, il faut, pour arriver à la limite exigée, un poids d'air sensiblement proportionnel à celui de la charge traitée, ou, si la soufflante conserve la même vitesse, proportionnel à la durée du sursoufflage. Le commencement de la déphosphoration peut être nettement apprécié ; l'expérience indique quel poids d'air est nécessaire pour l'achever : on en déduit le nombre de tours de la soufflante, ou le nombre de secondes pendant lequel doit s'effectuer cette déphosphoration. Chaque opération est donc conduite d'après les

renseignements que procure l'allure des précédentes, corrigés suivant l'appréciation de l'opérateur. Au moment où la déphosphoration semble terminée, la cornue est renversée horizontalement et le soufflage suspendu. C'est alors qu'a lieu la prise de l'éprouvette dont la fluidité, le mode de solidification, le forgeage, la texture seront autant de données précises sur la qualité du métal.

Indications données par l'éprouvette de métal. — L'éprouvette de soufflage est une prise de métal faite dans la cornue et coulée dans une coquille de fonte; elle pèse environ $0^{kg},5$. La pochette est plongée à fond dans le bain, pour qu'elle se remplisse complètement, en ne conservant qu'une mince couche de crasse; un homme l'écrème pendant que le second la vide dans la coquille, pour que la crasse ne se mêle pas au métal, et ne lui donne l'apparence de fer soudé.

La solidification de l'éprouvette dans sa coquille procure des indices souvent suffisants sur la qualité du métal. Si la déphosphoration est terminée, il doit être oxydé; par suite, il remonte au contact de la coquille froide; avant qu'il ne se solidifie, les gaz dissous produisent quelques étincelles, le métal roche, et déborderait si l'on n'accélérait le refroidissement en recouvrant la coquille avec une plaque métallique froide; l'éprouvette qu'on en retire présente une tête convexe par suite de sa remonte. Un métal insuffisamment déphosphoré reste fonteux, moins vif, n'étincelle point; s'il est au contraire trop soufflé, il étincelle trop longtemps, grimpe le long des parois, déborde hors de la coquille, bien qu'on la bouche; l'éprouvette est creuse au centre, et irrégulière.

Les prises de métal sont coulées dans des coquilles rondes d'une seule pièce, ou dans des lingotières carrées, en deux parties clavetées légèrement; un choc les démoule rapidement. Il importe que le forgeage soit effectué à haute température, mais après solidification complète; l'éprouvette démoulée est envoyée par une gouttière à proximité du pilon, si celui-ci se trouve au-dessous du plancher des convertisseurs.

Le forgeage est fait au pilon automatique à vapeur ou au pilon à chute libre; les éprouvettes rondes sont aplaties en galettes par 4 ou 5 coups rapides, pendant qu'on les maintient sur l'enclume avec une vergette en fer rond, qui s'y imprime et sert ensuite à les manier. Les éprouvettes carrées sont forgées en un barreau de 30 à 40 millimètres de côté, qu'on maintient avec une tenaille.

Dès que le forgeage est terminé, la galette ronde ou le barreau sont trempés à l'eau très froide, dans laquelle on les agite afin de hâter le refroidissement; on les y laisse jusqu'à ce que leur température ne dépasse pas 40°.

L'aspect extérieur indique la malléabilité du métal; des bords réguliers, francs, un peu arrondis, caractérisent un métal malléable, peu sulfureux, non peroxydé. Des éprouvettes sulfureuses forgées très chaudes peuvent ne pas criquer complètement, mais présentent toujours des gerçures. Le soufre et l'oxygène qui rendent le métal rouverin sont caractérisés par des criques multiples sur les bords de l'éprouvette; les criques dues à une oxydation trop intense sont nombreuses, peu profondes, dentelées, et laissent apercevoir un métal noir grenu, que la cassure caractérisera mieux encore. Des éprouvettes forgées trop chaudes, avant que la solidification intérieure soit achevée, peuvent présenter quelques criques, qui sont naturellement sans importance.

Le cassage de l'éprouvette se fait au pilon, sur une étampe échancrée; on frappe en son milieu à petits coups sur un dégorgeoir, pour produire un pliage avant rupture. Quelquefois, pour augmenter la zône granuleuse de la cassure, on tranche légèrement une face de l'éprouvette avant cassage; mais on ne peut ainsi profiter des indications que donnerait le pliage. Un métal suffisamment déphosphoré martelé en galette épaisse de 10 à 15 millimètres se rompt sous un angle de 100 à 120°; — la barrette carrée de 35 millimètres de côté casse à 130°; — à ces caractères répondent des teneurs voisines de 0,05 0/0 C et 0,07 0/0 Ph.

Le grain de l'éprouvette fournit de son côté des renseignements tout à fait suffisants; le phosphore uni au feu tend à produire un grain brillant, à faces arrondies, bleutées et très claires, bien différent du grain jaunâtre dû au silicium. Le forgeage étire ces grains, les allonge comme des fibres dans le sens de la cassure. Pour observer plus aisément la texture, il est bon de ne pas placer l'éprouvette dans une vive lumière, et d'orienter les fibres du métal parallèlement aux rayons visuels. Sur une éprouvette forgée à bonne température, les fibres phosphoreuses se manifestent nettement pour une proportion de 0,090 à 0,100 0/0 Ph; elles sont d'autant plus franches que cette proportion s'élève, et, à 0,150 0/0, la grosseur du grain atteint 4 à 5 millimètres en longueur, 1 ou 2 millimètres en largeur. Les teneurs inférieures à 0,09 0/0 donnent un grain fin, non allongé, brillant, analogue à celui des aciers de moulage.

Le forgeage à haute température augmente la grosseur et l'éclat du grain, sans modifier sa forme ; inversement, il est plus difficile de bien apprécier la présence du phosphore, quand le forgeage a été effectué à une température inférieure à 1.030° : les grains phosphoreux, écrouis par le travail mécanique, paraissent plus fins, bien que la teinte générale de la texture reste claire et uniforme. Il est bon que l'opérateur assiste au forgeage de l'éprouvette, afin de pouvoir en interpréter plus sûrement les indications.

D'autres causes peuvent encore modifier l'apparence du grain : une gouttelette de scorie, au milieu du métal, donne une éprouvette feuilletée, nerveuse, dont la cassure se rapproche de celle du fer ; la texture ne présente que des plages granuleuses de trop faible étendue pour autoriser une conclusion certaine.

Le silicium existe en très petite proportion dans les aciers Thomas après déphosphoration ; une teneur sensible donne naissance à un grain arrondi, semblant indiquer une teneur en phosphore inférieure à la teneur réelle. Des fontes très grises traitées au convertisseur basique présentent fréquemment cette particularité.

Une texture uniforme à grain fin, grise, veloutée, semblable à celle des aciers très durs, indique que le métal est suroxydé, ce qui peut résulter d'une addition de chaux insuffisante pour absorber complètement l'anhydride phosphorique, ou d'un soufflage trop prolongé. Il se peut qu'aucune crique ne se montre sur les arêtes de l'éprouvette : la diffusion du phosphate ou de l'oxyde de fer dans l'acier produit sur la texture un effet analogue à celui d'une gouttelette de scorie occluse, mais plus uniforme et d'intensité moindre.

Le cassage de l'éprouvette, même préalablement tranchée, laisse toujours apparaître, au dos de la cassure, un filet nerveux ; s'il est assez accentué, c'est que le métal est ductile, puisque le nerf est la conséquence de l'allongement avant rupture des chapelets granuleux. Le métal phosphoreux, étant essentiellement à grains, se prête mal à la production du nerf, même s'il a été forgé froid ; dans ce dernier cas, la texture est à grains fins, avec un très mince cordon nerveux. Les éprouvettes épaisses présentent une surface nerveuse plus considérable que les éprouvettes minces, car l'allongement des fibres avant rupture s'est produit sur une section plus étendue. Les indications que peut fournir l'existence du nerf sont loin d'être absolues ; elles viennent seulement à l'appui de celles que procure le grain, sans pouvoir les remplacer.

Arrêt du soufflage. — L'examen de l'éprouvette fait connaître à l'opérateur la qualité du métal au moment de la prise ; s'il le juge suffisamment affiné, la conversion est arrêtée ; sinon, on recommence l'injection d'air, après quoi l'on reprend au besoin une seconde éprouvette.

La déphosphoration n'est pas poussée jusqu'à la même limite pour toutes les opérations : les aciers à poutrelles, les aciers marchands courants sont déphosphorés jusqu'à 0,08-0,10 0/0 ; les aciers de construction, pour tôles, ponts métalliques, jusqu'à 0,06-0,08 0/0 ; les aciers extra-doux, jusqu'à 0,06 0/0 et même moins. Les aciers durs pour rails sont également complètement déphosphorés : la recarburation fera en effet repasser une partie du phosphore dans le métal, par réaction du carbone des additions sur la scorie phosphoreuse ; d'ailleurs le phosphore est d'autant plus nuisible que le métal est plus carburé.

DÉCRASSAGE

La présence de l'oxyde de fer dans le bain nécessite la désoxydation de celui-ci ; pour obtenir diverses nuances d'aciers, il faut recarburer plus ou moins le métal avant de le couler en lingotières. Si les réducteurs et les durcissants, manganèse, silicium, carbone, sont mis en présence de la scorie phosphatée, ils la réduisent, régénèrent le phosphore, et sont ainsi perdus pour le métal. Il est donc nécessaire d'opérer un décrassage, en ne laissant sur le bain qu'une couche mince de scorie qui le préserve contre le refroidissement, et qui n'aura pas le temps, vu sa faible épaisseur, de réagir sur les additions. Il est même indispensable, pour l'acier fortement carburé, de séparer complètement la scorie et les recarburants, d'éviter tout contact entre eux, et de faire les additions dans la poche de coulée elle-même.

On décrasse en abaissant simplement le bec de la cornue ; la scorie qui surnage s'écoule en minces filets dans une cuve disposée sous le bec. On arrange tout d'abord le bec avec quelques mottes d'argile, de manière que les briques qui le garnissent ne présentent aucune fissure profonde : si le déversoir atteignait une épaisseur trop considérable, l'acier filtrerait par la partie inférieure. On incline l'ap-

pareil lentement, progressivement, pour que l'écoulement s'arrête spontanément, quand la couche de scorie s'est amincie, et a pris de la consistance en se refroidissant. Si la crasse n'est pas assez fluide (température trop basse ou excès de chaux), on la tire avec des crochets, en enlevant particulièrement les fragments de chaux incuits, dont la décarbonatation refroidirait le bain. Une baguette de fer, agitée dans le jet de crasse, en disperse des globules ; dès que le décrassage touche à sa fin, on voit apparaître des grains de métal facilement reconnaissables : la scorie donne des gouttelettes rondes, jaunes, qui perdent leur éclat en tombant lourdement ; les gouttelettes d'acier s'oxydant à l'air conservent une vive couleur bleue, et forment des paillettes qui tendent à s'élever. Dès qu'elles apparaissent, le machiniste redresse la cornue.

Le contact de la scorie Thomas liquide avec l'eau ou des corps humides est plus dangereux que celui du laitier de haut-fourneau ; de violentes explosions, avec projections en tous sens, se produisent instantanément, dues à la température élevée de la scorie et à la chaux anhydre qu'elle contient. Il est imprudent d'abattre, dans une cuve à crasse, une scorie mousseuse, par une addition de poussières humides ou de terre argileuse mouillée ; on obtient d'ailleurs l'effet inverse de celui qu'on se propose, car une partie de la scorie est projetée hors de la cuve. Il vaut mieux la calmer, pendant le décrassage même, en jetant dans la cuve des fragments de briques ou de la poussière sèche, qui brisent la croûte superficielle et favorisent le dégagement gazeux.

On ne doit pas verser de scorie liquide dans une cuve contenant du coke incandescent, provenant du chauffage d'un convertisseur neuf : la crasse réagirait vivement sur le coke en produisant une effervescence énergique.

Cuves à crasse. — Les cuves à crasse posées sur un truck culbuteur sont plus souvent employées que les poches à scorie. Ces cuves à plateau sont en fonte, coniques, rondes ou elliptiques, munies d'oreilles pour qu'on puisse les soulever et les manœuvrer. Le truck roulant porte un plateau oscillant autour de l'axe longitudinal, pouvant s'incliner de 30 à 35° sur l'horizontale, par abatage des verrous qui le calent dans sa position normale. La construction en est très simple ; des plaques de garde protègent les roues contre les éclaboussures de scorie et de métal ; la suspension et la traction se font sans l'intermédiaire de ressorts. Le plateau de fonte est

garni de plats en acier, qu'on remplace aisément lorsqu'ils sont brûlés ; très souvent, de la fonte ou de l'acier s'échappent du bec, gagnent le fond de la cuve et le percent.

Le bas de la cuve de fonte, placée sur le plateau, est garni intérieurement de terre argileuse qui forme joint sur toute la périphérie ; on dispose en outre sur le plateau une couche de poussières de scorie, de déchets provenant des cheminées de soufflage, qui le soustraient au contact de la crasse liquide.

Sous les convertisseurs, les cuves circulent sur une voie perpendiculaire à l'axe des tourillons des cornues ; vides, elles y sont poussées par une locomotive ; pleines, celle-ci les tire par l'intermédiaire d'une chaîne de 4 à 5 mètres de longueur, pour qu'en cas de déraillement du truck ou de renversement de la cuve la machine soit à l'abri et puisse se dégager plus rapidement.

Les cuves à scorie servent généralement pour deux coulées ; une fois pleines, on les conduit sur une voie de garage où on les laisse refroidir pendant douze heures. On les mène alors sous un pont transbordeur qui soulève la cuve et la dépose sur un plateau vide ; le pain de scorie est emmené avec son plateau jusqu'au chantier d'exploitation des pains, où il est basculé et renversé à terre. Le plateau redressé est prêt à recevoir une nouvelle cuve vide et à servir de nouveau.

Les pains, abandonnés deux ou trois jours à l'air, achèvent de se refroidir ; ils se fendillent spontanément en absorbant l'humidité, ce qui en facilite le cassage ; les fragments sont conduits aux moulins et pulvérisés. La poudre de scorie est ensuite livrée à l'agriculture, comme engrais.

L'exploitation des pains, à cause du cassage surtout, est assez onéreuse. On en diminue les frais en disposant le stock de scories au pied d'un remblai, au sommet duquel les pains sont amenés après démoulage ; dans leur chute le long du talus, ils s'ouvrent, se brisent, et gagnent la base presque complètement débités : il ne reste plus qu'à trier les scraps métalliques qu'on repasse aux hauts-fourneaux.

Décrassage en poche. — Le décrassage en poche évite l'emploi d'un matériel roulant considérable, que nécessite le refroidissement des pains avant démoulage. La scorie est vidée dans une poche elliptique garnissée, montée sur un chariot, et éloignée des convertisseurs dès que le décrassage est terminé. Quand la poche est remplie, on

l'amène au sommet d'une petite rampe et on la déverse ; la scorie encore liquide s'écoule, se répand en une mince nappe rapidement solidifiée. On peut l'arroser, au besoin, pour hâter son refroidissement ; le broyage, le chargement pour les moulins sont moins pénibles : le refroidissement brusque a rendu les fragments plus fragiles et plus divisés. Pour éviter que, par les temps de pluie, la scorie encore liquide ne vienne en contact avec un terrain humide, le chantier de coulée est abrité sous un hangar, qui peut être de dimensions réduites, puisque l'expédition de la crasse est faite aussitôt.

OPÉRATION BASIQUE. — ALLURES PARTICULIÈRES

L'allure générale de la conversion subit des modifications, suivant la composition de la fonte et la température initiale du convertisseur. La plupart des réactions, correspondant à des équilibres instantanés, fonctions de la température et des circonstances ambiantes, varient d'intensité avec la chaleur du bain et l'instant considéré ; la présence de la chaux, la combustion tardive du phosphore rendent l'incertitude encore plus complète dans le procédé basique que dans le procédé acide. La température finale de la coulée peut être supérieure ou inférieure à celle qu'il convient d'atteindre et de ne pas trop dépasser pour la fabrication des lingots.

Allure chaude par excès de silicium. — Il faut éviter d'employer, dans le procédé Thomas, des fontes silicieuses, truitées ou grises, car la silice qui se produit au début de l'opération, avant la scorification de la chaux, use fortement le garnissage ; elle est saturée incomplètement par l'oxyde de manganèse et attaque donc les parois. Les fontes silicieuses exigent plus de chaux que les fontes blanches ; les bases ayant saturé la silice ne sont plus libres pour communiquer une basicité suffisante à la scorie, dont le poids est d'ailleurs augmenté, et dont la teneur en chaux libre doit être conservée intégralement pour ne rien lui enlever de son efficacité.

L'affinité du carbone pour l'oxygène, s'accroissant rapidement avec la température, hâte le début de la décarburation et protège momentanément le manganèse. La décarburation se poursuit et s'achève avec une flamme longue et chaude ; manganèse et phosphore

s'oxydent à ce moment ; des nuages apparaissent dès la fin de la décarburation, en raison de l'oxydation rapide d'une grande quantité du manganèse.

C'est au moment de l'apparition hâtive des fumées rouges qu'il convient d'intervenir pour refroidir la coulée, avant que la combustion exothermique du phosphore n'ait encore surélevé la température du bain. Dans ce but, on emploie une partie de la chaleur dégagée par cette oxydation à la fusion d'additions solides, chutes de poutrelles, de rails, de profilés quelconques ; on y adjoint un peu de chaux, afin de rendre à la scorie l'énergie déphosphorante qu'avait affaiblie une teneur anormale en oxydes métalliques. Ce complément de charge doit être fait dans la première moitié du sursoufflage, afin que l'énergie thermique potentielle du bain suffise encore à en assurer la fusion complète ; enfournées trop tard, c'est au métal même — qu'elles refroidissent alors outre mesure — et non à la combustion du phosphore, que les ferrailles empruntent la chaleur nécessaire, soit environ 405 calories par kilogramme.

Des coulées achevées trop chaudes conservent moins d'éléments réducteurs (manganèse en particulier) que des coulées terminées à bonne température ; elles sont plus oxydées, et nécessitent des additions manganésées plus considérables.

Comme on peut juger de la teneur en silicium d'après l'éprouvette de fonte, l'opérateur n'attend pas la fin de la décarburation pour enfourner du métal froid : avant même de verser la fonte, il fait charger des chutes ou des gueusets. Ces additions peuvent être faites en fragments plus gros que celles que l'on réserve au réglage final de la coulée : des chutes de blooms, des bouts de lingots, des scraps conviennent parfaitement. La fonte froide peut être traitée de même, ce qui évite les frais de fusion et la perte au feu de la refonte au cubilot.

Allure chaude par excès de phosphore. — L'aspect de l'éprouvette de fonte n'indique pas sa teneur en phosphore ; on ne peut donc savoir d'avance si le phosphore rendra la conversion trop chaude. Les premières phases de la coulée restent normales ; mais, lors de la déphosphoration, la durée du sursoufflage consacrée par l'expérience se trouve insuffisante ; les nuages d'oxydes métalliques sont épais, car la scorie saturée d'anhydride phosphorique est moins active. Le remède consiste en une addition de chaux finement concassée, qui permet d'achever la déphosphoration ; après l'avoir chargée, on la

laisse quelques instants s'échauffer et se scorifier partiellement dans la crasse, afin que, dès la reprise du soufflage, son énergie absorbante vis-à-vis de l'anhydride phosphorique soit assez vive pour que le métal ne soit pas suroxydé. Il ne convient pas de refroidir le bain par des chutes d'acier au moment de la déphosphoration ; la température s'abaisserait, mais le métal ne pourrait se déphosphorer.

Allure chaude par excès de manganèse. — Les coulées chaudes par excès de manganèse sont assurément les plus onéreuses, car ce manganèse n'a été introduit dans la fonte que grâce à de fortes proportions de coke et de minerai manganésifère. Pour les convertisseurs, il n'en résulte aussi que des dépenses : déchet en métal, consommation de chaux plus considérable. Malgré la basicité de l'oxyde de manganèse, la scorie doit rester fortement calcaire, car cet oxyde la rend trop liquide et impropre à la déphosphoration. Cependant, le phosphore, au contact d'une scorie très manganésée, s'oxyde à ses dépens en régénérant le manganèse ; la réaction s'effectue suivant la formule :

$$4CaO + 5MnO + 2P = P^2O^5,4CaO + 5Mn.$$

C'est ainsi que les fontes très manganésées peuvent, à la fin du soufflage, conserver 0,25 à 0,30 0/0 Mn, malgré la vive oxydation de ce dernier dès le début même de la conversion.

L'aspect miroitant des fontes manganésées ne permet pas de se tromper sur leur valeur ; on charge donc, dès le début de l'opération, des gueusets de fonte non manganésée, assez froide, et même légèrement sulfureuse ; des fontes de transition, produites entre une fabrication de fonte Thomas et une fabrication de fonte d'affinage, conviennent très bien pour cet emploi, ainsi que les fontes sans manganèse, dites O. M., livrées par les fourneaux pendant les arrêts de l'aciérie dans le but d'économiser du minerai de manganèse.

Coulée soufflée avec une quantité de chaux insuffisante. — Une opération faite avec une quantité de chaux insuffisante présente tous les symptômes d'une coulée trop chaude par excès de phosphore ; l'apparition rapide des fumées d'oxydes est due à une absorption trop lente de l'anhydride phosphorique, qui reporte sur le fer l'action de l'oxygène. Le remède est, naturellement, une addition de chaux concassée, qu'on laisse cuire quelques moments dans la scorie naissante. Des fontes Thomas, même froides, ne peuvent pas être

traitées normalement avec une proportion de chaux inférieure à 11 0/0, et, si elles sont incapables de la supporter, mieux vaut les faire couler à la halle des hauts-fourneaux que les traiter par conversion.

Une mauvaise qualité de chaux produit les mêmes effets qu'une quantité de chaux insuffisante. Les calcaires oolithiques donnent des chaux granuleuses qui sont incapables, après cuisson, d'absorber rapidement l'anhydride phosphorique à mesure qu'il prend naissance. On peut remédier à leur inactivité relative en en consommant davantage, mais le procédé n'est évidemment pas économique. Une opération pratiquée ainsi avec une chaux inerte produit un métal oxydé, et exige une fonte de qualité supérieure, plus chaude chimiquement comme manganèse et silicium. On peut rendre plus aisé l'emploi de ces calcaires en fractionnant la déphosphoration : dès qu'apparaissent les fumées d'oxydes, on abaisse la cornue et on interrompt le soufflage durant quelques minutes : la chaux absorbe l'anhydride phosphorique combiné d'une manière instable avec l'oxyde de fer, tandis que la proportion d'oxyde ferreux dans le métal s'abaisse. Lorsqu'on reprend le soufflage, les fumées sont beaucoup moins opaques ; en même temps, on réduit la température par addition de chutes d'acier.

Conséquences d'une allure trop chaude. — Toutes les opérations trop chaudes, quelle que soit la cause qui les ait provoquées, entraînent une corrosion exagérée des revêtements, particulièrement des fonds. Le chargement des additions solides, leur frottement contre les parois ramollies, usent naturellement ces dernières. Les garnissages sont rongés au niveau de la crasse dans la position de chargement et dans la position de soufflage; ils présentent un profond cordon, irréparable à cause de l'inclinaison des parois latérales. La scorie, trop liquide, filtre à travers les meilleurs barrages, et se mélange à l'acier pendant la coulée en poche.

Les effets produits sur le métal sont encore plus fâcheux ; l'acier, fortement oxydé malgré une addition abondante de désoxydant, se forge parfois assez mal, et reste rouverin ; les poches de coulée, les lingotières, s'usent rapidement; la fluidité du métal est telle que des fuites se produisent entre les lingotières et leurs bases, les mettant ainsi hors service. L'acier, très mousseux, monte et descend dans les lingotières, s'y solidifie par couches, grimpe le long des parois et peut déborder ; malgré un calme relatif produit

par une addition d'aluminium, le lingot reste creux, et se termine à la tête par une tige de botte.

Allure froide par emploi d'une fonte chimiquement froide. — On dit qu'une opération est froide quand la température finale du bain est inférieure à celle qui convient le mieux à la coulée des lingots. Le régime de marche de chaque aciérie indique la composition de la fonte type qui lui convient le mieux. La proportion des divers éléments de la fonte peut varier, certaines de ces variations compensant les autres sans que le résultat final en soit modifié : une moindre richesse en phosphore, par exemple, est contre-balancée par une plus forte teneur en silicium et manganèse. Toute fonte qui sera ainsi moins chaude que le métal type donnera des coulées froides; il faudra l'enrichir artificiellement avant de la charger dans le convertisseur. On emploie dans ce but des alliages contenant beaucoup de silicium, de manganèse ou de phosphore; bien qu'on puisse obtenir industriellement les ferrophosphores, on ne les utilise point, car leur emploi, réduit à ce cas particulier, serait trop restreint; les alliages siliciés ou manganésés sont au contraire les thermogènes les plus en usage.

Quand l'aspect de la fonte peut faire craindre une opération trop froide, le convertisseur ne reçoit tout d'abord que la charge de chaux minima, soit 11 0/0 du poids de la fonte, et on enfourne en outre des fontes spéciales avant soufflage. L'usage exclusif de ferrosilicium rendrait le métal cassant; les alliages doubles silico-manganésés sont préférables; on emploie donc du ferrosilicium concassé et des déchets de ferromanganèse, ou des silico-spiegels, dont le poids total sera moindre pour une proportion donnée d'éléments actifs. Le poids de ces additions est déterminé de telle sorte que leurs éléments thermogènes compensent aussi exactement que possible l'insuffisance de ceux de la fonte.

L'effet de ces correcteurs peut être insuffisant à éviter complètement l'allure froide, qui se manifeste alors dès l'origine du soufflage; la flamme reste longtemps rosée et transparente, car le silicium et le manganèse brûlent seuls, laissant échapper une notable quantité d'oxygène inactif.

La décarburation s'amorce difficilement, puisque la température est basse; elle dure peu, et la flamme tombe rapidement, sans bruit. Au début du soufflage apparaissent de grosses étincelles, entraînées hors du bain peu fluide ; lors de la déphosphoration, la scorie est

projetée au dehors en gerbes lourdes, à cause de sa viscosité.

Les nuages d'oxydes métalliques se montrent tardivement, ténus et pâles, de couleur jaune d'ocre parsemée de vert sale ; il est urgent d'agir au plus tôt. Sans rabattre la cornue, on ajoute par la trémie à chaux ou par un couloir spécial les alliages siliciés et manganésés, cassés en menus fragments. Dès que leur fusion commence, la fumée se fonce, le bruit s'assourdit ; l'allure chimique de l'opération est modifiée, la déphosphoration est suspendue, mais la température s'est rapidement élevée, et, dès que la combustion des additions s'achève, la déphosphoration recommence, quelque peu contrariée cependant par la présence du silicium ; il est indispensable d'examiner le grain de l'éprouvette pour décider l'arrêt du soufflage.

Toute opération d'allure froide doit être terminée en vue de la fabrication d'acier doux ; en effet, l'addition de spiegel ferait perdre un temps précieux, et refroidirait le métal plus qu'une addition de ferromanganèse ; en outre, l'acier dur se solidifie plus rapidement que l'acier doux, ne reste pas aussi facilement en surfusion, étant moins fluide et moins vif. Des lingots d'acier dur coulés à une température voisine du point de solidification sont inutilisables, tandis que l'acier doux, dans les mêmes conditions, préparé par un bon chauffage, reste encore passable.

Allure froide par excès de chaux. — Une addition exagérée de chaux refroidit le métal et fournit tous les symptômes d'une coulée froide ; le soufflage se fait plus lentement, la pression du vent s'élève, parce que la fonte, peu fluide, se fige sur les bords des tuyères et les obstrue. Dès que l'oxydation du silicium commence, la température s'élève et l'opération reprend l'allure normale.

Si cependant l'excès de chaux est considérable, la coulée reste froide, comme si l'on traitait une fonte peu phosphoreuse ; du ferrosilicium, jeté par le bec sans interrompre le soufflage, réchauffe le bain par sa combustion, et la silice ainsi produite éclaircit la scorie, qui redevient fluide.

Avant de se scorifier, la chaux incuite ou humide emprunte au bain une notable proportion de la chaleur dont pourrait profiter le métal : elle produit ainsi un refroidissement constant, analogue aux pertes par transmission et rayonnement ; à la fin de la coulée, des fragments d'incuits nagent encore sur la scorie, soulevés par le dégagement d'anhydride carbonique. Il est très important de les

retirer en les faisant tomber dans la cuve à crasse, car ils refroidissent rapidement la scorie et le métal; bien que la coulée ait semblé assez chaude à la fin du soufflage, elle est déjà froide au moment de la coulée en poche ; la déphosphoration s'est effectuée irrégulièrement, puisque le poids réel de chaux active est moindre que celui sur lequel avait compté l'opérateur. La scorie, fortement mousseuse, remplit toute la panse, et sort spontanément du bec; souvent même, quand on rabat la cornue, le vent en entraîne une nappe et peut causer ainsi des accidents. Le métal, soufflé, nécessite des additions manganésées plus considérables. Quand une coulée est ainsi commencée avec de la chaux incuite, on rabat pour laisser cuire les blocs de pierre qu'on ne peut retirer, et on ajoute du ferrosilicium avec un peu de chaux, pour la réchauffer. Le seul moyen d'éviter ces accidents est de faire, au four à chaux, un triage soigné, et de rejeter les moellons trop lourds qui ne rendent pas un son mat sous le choc d'un marteau.

Allure froide par excès d'additions métalliques solides. — Des additions trop fortes de gueuses ou de chutes d'acier refroidissent le bain d'une façon dangereuse ; lorsqu'elles ont été chargées au début de la coulée, on s'aperçoit assez tôt que l'allure devient froide pour pouvoir y remédier. Mais, si on les a enfournées en trop grande quantité, ou à la fin de la déphosphoration, il se peut qu'elles ne soient pas encore entièrement fondues quand la conversion est terminée. Le métal se refroidit alors beaucoup pendant le décrassage, qu'on doit hâter de façon à couler en poche le plus rapidement possible, en disposant sur le bec un barrage de chaux qui retient les matières solides dans la cornue.

Les projections qui accompagnent les coulées froides ont tendance à se fixer sur le bec; celles qui se trouvent du côté de la panse sont fondues lorsqu'on coule le métal et la crasse ; mais, du côté du dos, elles forment un loup qui s'accroche dans les joints des briques. Si les opérations suivantes sont plus chaudes, ces loups se réchauffent, et ils peuvent se détacher et tomber dans le bain, soit vers la fin de la coulée, soit pendant le décrassage. Quand cette chute se produit avant que le soufflage soit terminé, il est encore temps de réchauffer le bain avec du ferrosilicium ou du ferromanganèse, qui aideront à la fusion du loup. Mais, si la chute a lieu après soufflage, il ne reste qu'à couler en poche le plus rapidement possible, sans même décrasser, de façon à vider le convertisseur avant que le métal ne

puisse se figer sur les parois. Les lingots ainsi obtenus sont généralement inutilisables.

Fréquemment, après vidange de la cornue dans la poche, des fragments du loup restent dans la panse; on les fait tomber à terre si leurs dimensions leur permettent de passer par le bec; sinon, on les fond à la coulée suivante. Quand un loup de bec menace de se détacher, il est préférable de l'enfoncer à coups de mouton avant le chargement de la cornue; on fera, pour le fondre, les additions nécessaires de chaux et de ferrosilicium.

Opérations faites avec des fontes sulfureuses. — La fonte Thomas peut être suffisamment chaude et contenir cependant une proportion de soufre nuisible, particulièrement quand les convertisseurs reçoivent de la fonte de première fusion, sans passage par un mélangeur; mais, d'ordinaire, la teneur en manganèse est en même temps faible. On remédie à cet état de choses par une addition, avant soufflage, de produits manganésés : déchets de spiegeleisen, de ferromanganèse. Malgré ces précautions, l'éprouvette prise à la fin du soufflage peut présenter des criques; si la déphosphoration n'est pas terminée, on jette immédiatement dans la cornue du ferromanganèse, puis on achève l'opération sans la pousser au delà de 0,08 0/0 de phosphore, afin de ne point ajouter aux effets du soufre ceux d'une trop profonde oxydation; en tous cas, les additions finales doivent comporter un excès de manganèse de 2 à 3 kilogrammes par tonne, pour faire émigrer une partie du soufre dans la scorie.

Opérations peroxydées. — Les criques de l'éprouvette peuvent être causées, non par le soufre, mais par l'oxyde de fer résultant d'une oxydation trop intense. Le grain du métal indique si cette oxydation est la conséquence d'une insuffisance de chaux ou d'un excès de soufflage : le métal trop longtemps soufflé présente une cassure à grain très fin, sans nerf, avec des arrachements anguleux, souvent effacé par une couleur terne et terreuse. Cet aspect est dû aux oxydes de fer et de manganèse en suspension dans le métal et qui s'opposent à une cristallisation normale. Si les nuages d'oxydes des fumées ne font pas pressentir une coulée froide, on raffine celle-ci très fortement, en doublant le poids des additions, et en les combinant de manière à favoriser l'élimination des oxydes par de la silice naissante; une addition de 0,05 0/0 d'aluminium dans la poche constitue un adjuvant puissant, et calme sensiblement le métal.

Les coulées trop déphosphorées deviennent souvent froides : l'oxygène se porte presque uniquement sur le fer, dont la combustion ne suffit pas à maintenir la température acquise à ce moment. L'air injecté est en effet porté à la température de la cornue, c'est-à-dire à plus de 1.700° ; vu l'absence de réducteurs, il n'entre pas totalement en réaction ; une proportion notable s'échappe du bec, emportant la chaleur du bain sans avoir produit aucun effet utile. Quand on poursuit le soufflage après que la teneur en phosphore est descendue jusqu'à 0,05 0/0, les fumées d'oxydes pâlissent rapidement, deviennent transparentes : c'est l'indice que le métal se refroidit; on rabat aussitôt, et on fait les additions sans décrasser. Dans ce cas, comme le métal est rarement utilisable, mieux vaut le sacrifier tout de suite et vider la cornue que de risquer de voir celle-ci se garnir fortement ; bien souvent, il est préférable de couler sans additions, puis de vider la poche dans une fosse à scraps.

Opération sur garnissage trop froid. — Lorsqu'on opère avec un convertisseur refroidi par un arrêt momentané, on doit prendre quelques précautions : si la fonte est chaude, on diminue les additions normales de ferrailles ; si elle est froide, on charge, dès le début, du ferrosilicium. C'est le cas de la première coulée faite sur un fond neuf ; malgré un réchauffage au coke, la température du convertisseur est inférieure à celle qu'il posséderait en marche normale. Le fond cède souvent à la scorie l'excès de la dolomie qui a été employée pour former le joint ; la couche supérieure subit aussi une corrosion importante, de sorte que cette première coulée doit être soufflée avec une proportion de chaux inférieure à la normale, 14 0/0 au lieu de 16 0/0 par exemple.

Opération sur garnissage neuf. — Les effets du refroidissement dû à la cornue elle-même sont encore plus intenses lorsqu'elle est neuve, car ses parois, qui n'ont pas encore été portées à une température très élevée, sont imprégnées de goudron non dissocié. Il est indispensable de charger du silicium et du manganèse dès le début du soufflage ; il ne faudrait cependant pas compter sur ces additions pour réchauffer la cornue et réduire la durée du chauffage au coke, car l'action prolongée de ce dernier est nécessaire en ce sens qu'elle se fait sentir profondément et non superficiellement comme le fait seulement une coulée.

Les cendres du coke laissent sur les parois des scories sulfureuses

peu fusibles, formées au contact de la chaux et de la magnésie. Le garnissage est fortement rongé par la première coulée ; sa surface s'écaille par plaques, augmente le poids de la crasse ; on peut, en conséquence, réduire au minimum la charge de chaux. L'opération doit être surveillée attentivement, car la flamme, cachée par la fumée de goudron qui s'échappe des joints, est peu visible. Le soufflage ne suit pas absolument son cours normal, la faible température de la cornue refroidissant l'allure. La cuisson du revêtement, opérée en atmosphère réductrice, a laissé dans la couche extérieure du garnissage le graphite naissant de la dissociation du goudron ; ce carbone constitue un obstacle à la déphosphoration, car il s'unit au bain par cémentation et durcit même le métal lorsque la conversion est terminée. Les opérations sur cornues neuves doivent toujours être destinées à de l'acier doux de qualité courante ; elles sont souvent phosphoreuses, grâce à la réduction de la scorie pendant le décrassage, et restent riches en carbone. Les opérations suivantes sont également assez difficiles à conduire pour acier extra-doux, mais peuvent être réussies pour acier dur au moyen d'additions convenables ; au bout de trois ou quatre coulées, le convertisseur a pris son allure normale.

OPÉRATION ACIDE. — ALLURE NORMALE

Levée du convertisseur. — La fonte est versée dans le convertisseur rabaissé horizontalement, avec les additions métalliques qui doivent corriger sa composition pour la rapprocher autant que possible de la fonte type. Le vent est lancé dans la cornue, et, pendant que celle-ci est relevée jusqu'à la position de soufflage, des étincelles de fonte s'échappent, entraînées par les gaz qui sortent des tuyères sous une faible épaisseur de métal. La pression de soufflage des convertisseurs acides est toujours inférieure à celle des convertisseurs basiques, à cause de l'absence de chaux.

Combustion du silicium. — Ainsi que dans l'opération Thomas, l'oxygène se porte d'abord sur le fer et sature le bain de protoxyde ; un équilibre s'établit entre la quantité de protoxyde dissous et l'affinité des réducteurs du bain pour l'oxygène. D'une manière générale,

le métal acide reste moins riche en oxyde de fer que le métal Thomas, à cause de la présence du silicium en proportion notable, de l'absence de sursoufflage et d'une conversion moins précipitée, favorable à la régularité des réactions internes.

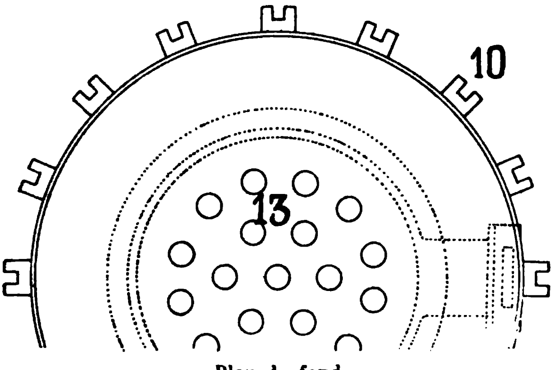
Parmi les éléments étrangers, le silicium brûle le premier, et par sa grande puissance calorifique élève aussitôt la température, si bien que, malgré sa disparition, le métal devient plus fluide. La silice naissante attaque peu les garnissages, mais tend à se combiner avec les bases : une partie de l'oxyde de fer produit est immédiatement scorifié, et la saturation de la silice s'achève par son union avec l'oxyde de manganèse. Cette influence de la silice sur l'oxyde de fer est une des causes pour lesquelles il faut modérer la rapidité de l'affinage, pour diminuer la production trop rapide d'oxydes métalliques qui se scorifieraient et seraient ainsi perdus. La tendance du manganèse à l'oxydation est également accrue par la vive affinité de la silice pour l'oxyde manganeux ; la scorie ferromanganésée reste toujours acide et très fluide.

La flamme contient presque exclusivement de l'azote mélangé d'oxygène inactif, dont la proportion diminue à mesure que la température s'élève ; elle est transparente, rose ou bleue avec des bords à peine visibles, courte et pointue. Elle entraîne des grains de fonte qui brûlent en scintillant avec un bruissement comparable à celui du vent sur des épis mûrs. Les gaz s'échappent sans pression ; le vent est comprimé à la tension minima nécessaire pour soulever la couche de fonte qui surmonte les tuyères.

Le bruit de la flamme est presque nul, puisqu'elle est sans pression ; il laisse percevoir nettement le clapotis du métal dans la cornue ; la fonte, dans son bouillonnement, retombe lourdement sur elle-même sans que la couche de scorie soit assez épaisse pour amortir le choc et calmer l'agitation.

Combustion du carbone. — La période de combustion du sicilium est de courte durée, surtout avec des fontes chargées à haute température dans une cornue bien chaude ; non que le siiicium soit totalement brûlé, mais la température s'est fortement élevée et a augmenté l'avidité du carbone pour l'oxygène. La décarburation commence tandis que la combustion du silicium s'achève ; le métal subit une modification chimique sans influence sur sa liquidité que conserve une température largement suffisante. Quand le silicium est éliminé complètement, l'oxydation se porte presque entièrement

Coupe verticale.



Plan du fond.

Convertisseur acide à fond plat.

1. Cuirasse en tôle. — 2. Ceinture en acier. — 3. Attache de la ceinture et de la cuirasse. — 4. Tourillon moteur. — 5. Tourillon à air. — 6. Tuyau à vent. — 7. Boite à vent. — 8. Plaque de fond de la boite à vent. — 9. Plaque support de fond. — 10. Agrafes de la cuirasse. — 11. Boulons d'agrafes. — 12. Fond siliceux. — 13. Tuyères.
Diamètre intérieur, $1^{m},950$.
Capacité, 12 tonnes.

sur le carbone, dont la teneur diminue régulièrement; le manganèse brûle en quantité insignifiante tant que la décarburation est intense, mais sa disparition s'accélère une fois que la proportion de carbone atteint 0,4 0/0.

Pendant la décarburation la scorie éprouve peu de variations ; à l'origine, elle s'enrichit en silice ; à la fin, l'oxyde de manganèse, mélangé d'ailleurs de protoxyde ferreux, la neutralise.

La pression d'injection s'accroît, à cause de la couche de crasse surnageante et de l'augmentation de la pression intérieure due à l'oxyde de carbone qui s'échappe du bain; le métal, devenu très fluide, s'écoulerait par les orifices des tuyères, si l'on ne faisait tourner la soufflante plus rapidement.

La flamme ressemble en ce moment à celle de l'opération basique pendant la décarburation. Elle passe successivement par l'orangé, le jaune foncé, le jaune clair brillant; elle est très éclairante, s'épanouit par la combustion de l'oxyde de carbone, s'allonge en se divisant; des combustions locales s'effectuent au contact de l'air, de sorte que ses bords sont frangeux, son pourtour indécis.

Le bruit augmente avec l'éclat, accompagné du ronflement dû au bouillonnement intérieur du métal; la charpente oscille et vibre avec la cornue. A charge égale, les convertisseurs acides sont de dimensions moindres que les convertisseurs Thomas; les chocs, qui se produisent sur une moindre masse inerte, lui communiquent de violentes impulsions, bien que la rapidité de la conversion soit inférieure à celle de l'opération basique. Les projections qui s'échappent du bec ne sont plus métalliques : ce sont des grains de scorie entraînés hors de la masse émulsionnée qui remplit la panse; les rares parcelles de métal qui s'envolent ne scintillent plus comme au commencement; elles paraissent brillantes et bleutées.

Fin de la décarburation. — Après avoir atteint son maximum, l'intensité de ces phénomènes diminue rapidement; le bruit disparaît, la flamme se raccourcit, se divise davantage et vacille. La combustion du carbone, qui touche à sa fin, n'est plus assez vive pour absorber tout l'oxygène injecté : celui-ci se porte sur le fer, et les fumées d'oxydes apparaissent bientôt.

La teneur en phosphore n'étant aucunement dangereuse, il n'est pas nécessaire d'éliminer ce corps après décarburation. Si donc on fabrique des aciers demi-durs ou durs, carburés, il est inutile d'abaisser par soufflage la teneur en carbone au-dessous de celle qui cor-

respond à la qualité d'acier que l'on a en vue : on économise ainsi de la vapeur à la machine soufflante, du fer qui se scorifie en moindre quantité, et des additions réductrices ou recarburantes. Cette manière d'agir ne peut s'employer que si l'on possède l'absolue certitude d'arrêter l'opération au moment voulu ; elle est inutilisable dans la fabrication des aciers très doux, ou ne devant pas renfermer de silicium.

Dans ces derniers cas, on poursuit la conversion jusqu'à décarburation complète, de manière à ne conserver dans le bain que des traces de carbone ; le fer s'oxyde alors davantage ; le bain s'enrichit en oxyde de fer, qui attaque le silicium et le manganèse protégés jusqu'à ce moment par la combustion du carbone ; l'oxyde de fer non réduit s'unit à la scorie, ou s'échappe en nuages. Une coulée ainsi décarburée est loin de présenter un degré d'oxydation comparable à celui d'une coulée basique après sursoufflage ; elle nécessite néanmoins des additions désoxydantes.

Indications données par la flamme. — Quand on effectue la décarburation totale, la fin du soufflage est indiquée par les mêmes phénomènes que le commencement de la déphosphoration dans le procédé Thomas. Ils apparaissent très nettement : la flamme, après s'être échancrée et divisée, reste courte, pointue, peu éclairante ; des fumées jaunes l'enveloppent d'un brouillard qui s'épaissit peu à peu ; le bruit intérieur, moins violent, reste sourd et continu. On rabat alors la cornue pour prendre une éprouvette de métal.

Indications données par le spectroscope. — L'observation spectroscopique permet de prévoir la fin de la décarburation. Les gaz, azote et oxygène, qui s'échappent au début du soufflage, donnent un spectre peu lumineux, à peine coloré, et uniforme ; dès que la température s'élève, on distingue la raie du sodium, dont l'apparition, d'abord intermittente, reste bientôt continue ; comme la charge du convertisseur ne comporte que des éléments métalliques, la présence de la raie sodique doit être attribuée à l'usure du garnissage ; les éclipses successives qui précèdent son apparition permanente montrent que les vapeurs sodiques s'échappent d'abord par bouffées. D'autres raies se montrent bientôt dans le rouge, moins intenses, variables avec la nature de la fonte, surtout avec les matériaux qui entrent dans la composition du garnissage.

Lorsque la flamme commence à jaunir, par suite de la combustion du carbone, on aperçoit successivement, dans le vert, quatre raies

qui se présentent suivant un ordre constant, mais avec des intensités différentes; en les numérotant 1, 2, 3, 4, à partir de l'extrémité jaune du spectre, elles arrivent dans l'ordre 2, 3, 4, 1, les unes plus larges que les autres. On distingue aussi, parfois, dans le bleu, des raies peu intenses, capricieuses, dont l'origine est douteuse, et que l'on ne considère pas jusqu'à présent comme point de repère.

La disparition du groupement caractéristique du carbone s'effectue dans l'ordre inverse de son apparition; la raie 2, généralement la plus large, subsiste la dernière; le départ d'aucune de ces raies n'est accompagné d'éclipses comme leur arrivée; il est donc facile de le saisir d'une manière précise. Quand la décarburation est achevée, le spectre reprend son uniformité, coupée seulement par la raie du sodium.

Lorsqu'on décarbure complètement, la disparition totale des raies du carbone coïncide avec la chute de la flamme et l'apparition des oxydes; l'examen au spectroscope n'est donc pas indispensable, car on saisit parfaitement cet instant à l'œil nu. Cependant, des fontes très manganésées, comme les fontes suédoises, donnent à la fin de la décarburation des nuages roux épais qui cachent la flamme; on peut en ce cas recourir au spectroscope, dont l'emploi est même délicat en raison de l'obscurcissement du spectre.

L'affinage par décarburation incomplète fut pratiqué dès 1863, grâce aux progrès de l'observation spectroscopique. Pour des fontes de même provenance ayant des compositions semblables, la disparition des raies se manifeste, pour toutes les opérations, au moment où le métal possède une teneur en carbone déterminée. L'existence de chaque raie est une fonction continue, comparable à elle-même, de la richesse en carbone; il suffit donc d'établir au préalable une relation entre les phénomènes d'extinction et la teneur en carbone au moment où ils se produisent, pour qu'ensuite ils puissent servir de guides, et permettent d'arrêter le soufflage à l'instant voulu. Il n'existe à ce sujet aucune règle précise; la disparition de telle et telle raie correspond à une proportion de carbone variable, suivant la fonte, l'allure de la coulée, la forme et les dimensions du bec de la cornue; l'extinction de la raie 2, la dernière et la plus intense, correspond sensiblement à 0,14 0/0 de carbone.

L'observation de la flamme se fait au moyen de spectroscopes de poche, quand on désire seulement se rendre compte de la fin de la coulée, et au moyen d'appareils fixes, montés sur pied, quand une plus grande précision est nécessaire pour l'arrêt du soufflage avant

la fin de la décarburation; le spectroscope est souvent installé auprès des appareils de manœuvre des cornues; le rabattement peut ainsi être opéré par le machiniste au premier signe de l'opérateur.

Indications données par la prise de scorie. — Lorsqu'on pense avoir atteint le degré de décarburation que l'on désire, on rabat la cornue et l'on prend des éprouvettes de scorie et de métal. Une baguette de fer froide est enfoncée dans le bain ; la scorie filante y adhère, comme le verre fondu sur une canne de verrier; on la retire et on la plonge dans l'eau froide d'une bâche; la crasse se fendille et s'effrite, laissant tomber au fond de la bâche des parcelles métalliques que sa viscosité avait entraînées; sa couleur, son aspect, donnent d'utiles indications sur l'état du métal. Tant que le carbone reste dans celui-ci en proportion sensible, peu de fer passe dans la scorie, dont la teinte demeure verte; cette scorie est un silicate encore acide, fortement manganésé, de sorte que la teinte vert pomme due au manganèse l'emporte sur la coloration vert olive due à l'oxyde de fer, en donnant un mélange vert gris. Quand le carbone est éliminé, l'oxydation se porte sur le fer; la scorie, tout en restant acide, devient de plus en plus ferrugineuse; sa coloration passe par le vert bouteille pour arriver au noir brillant; après décarburation totale, la scorie Bessemer devient semblable au laitier de cubilot à fonte, produit une allure froide.

Les grains métalliques trempés avec la scorie sont écrasés à la masse sur une enclume en acier dur; s'ils ne criquent pas, c'est que le métal est malléable à froid, et ne prend plus la trempe; la décarburation est donc fort avancée. Si, au contraire, la masse rebondit sur le grain, et le chasse, l'acier est encore fortement carburé; dans l'hypothèse intermédiaire, l'écrasement se produit incomplètement avec des criques vers la périphérie. L'écrasement sans criques correspond à une résistance à la traction inférieure à 42 kilogrammes; l'indéformabilité indique une teneur en carbone supérieure à 0,25 0/0.

Indications données par l'éprouvette de métal. — Les prises de métal sont faites de la même manière qu'au convertisseur basique, mais, la scorie étant plus visqueuse, on doit enfoncer vigoureusement la pochette pour bien la remplir de métal.

La manière dont se comporte l'acier pendant la coulée de l'éprouvette donne déjà des indications : le métal qui reste calme, qui se fige immédiatement, dont la tête se recouvre de marbrures noires,

est encore carburé et silicié ; une peau lisse se refroidissant rapidement dénote la présence du silicium ; plus ces effets sont nets, plus l'acier est dur. Après décarburation complète, l'acier coulé en coquille est vif, il ne mouille pas les parois du moule et lance parfois de rares étincelles ; la tête figée reste légèrement convexe et uniformément rouge. Quand des étincelles se produisent, la teneur en carbone n'est pas supérieure à 0,10 0/0.

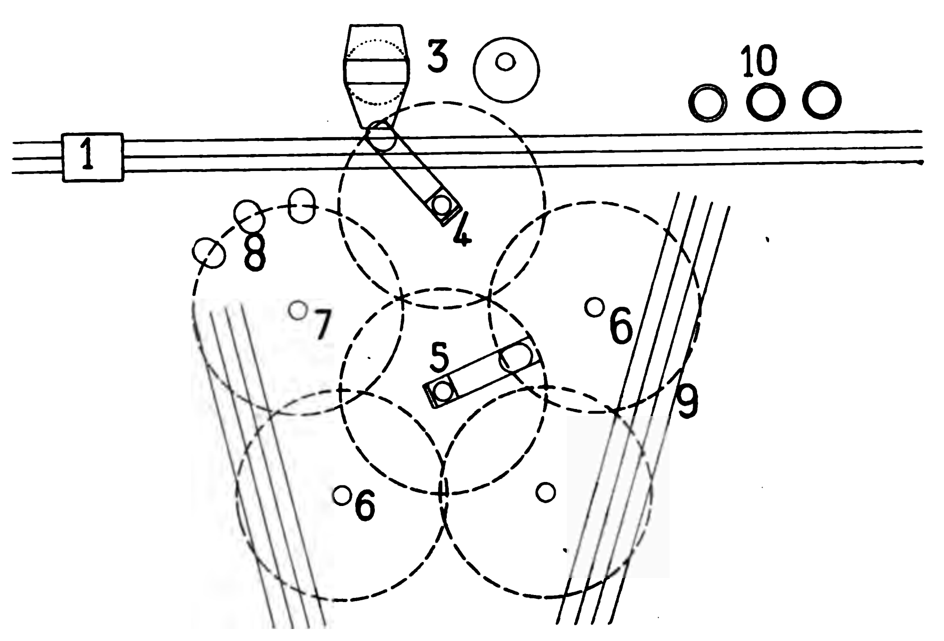
L'éprouvette est forgée au pilon, puis trempée. On préfère généralement les barreaux carrés aux galettes plates : ils montrent plus distinctement les pliages avant rupture. L'essai de pliage est fait au pilon sur une étampe échancrée ; l'angle de rupture augmente avec la teneur en carbone. La rupture sans flexion est particulière aux métaux à plus de 0,30 0/0 de carbone, alors que les pliages voisins de 60° caractérisent une décarburation complète et la disparition de la faculté de trempe.

Ainsi que pour l'acier Thomas, la netteté des angles du barreau est en rapport avec la malléabilité ; des criques indiquent la présence du soufre ou de l'oxyde de fer : il s'en produit assez rarement. En effet, les fontes Bessemer sont obtenues, au haut-fourneau, à température élevée, en présence d'un laitier à teneur élevée en chaux ; elles sont donc moins sulfureuses que les fontes Thomas. D'autre part, le soufflage, n'étant pas prolongé au delà de la décarburation, ne peut oxyder le fer suffisamment pour le rendre rouverin, à moins que la fonte ne soit très pauvre en manganèse.

La rupture par flexion après trempe montre le grain du métal, qui parfois est nerveux quand il a été complètement décarburé. Le grain possède ici une signification inverse de celui du métal basique : un acier très dur, non décarburé, cassera après trempe avec des arrachements irréguliers, un grain fin presque soyeux, d'un gris peu brillant. Quand la teneur en carbone diminue, la grosseur du grain augmente, sa couleur s'éclaircit et se rapproche de celle des aciers de moulage. Avec les métaux très doux, le grain s'étire et se transforme en nerf sur la face extérieure de l'éprouvette allongée par la flexion.

La grosseur du grain varie naturellement avec le mode de trempe et la température de forgeage ; un barreau trempé chaud présentera un grain plus grossier que s'il était forgé à basse température, alors que sa malléabilité étant déjà réduite, le travail mécanique a pu modifier la texture. Il faut donc tenir compte, dans les conclusions que l'on tire de l'épreuve de rupture, des circonstances qui ont précédé cette épreuve.

Arrêt du soufflage. — Une fois la conversion achevée, le métal est prêt pour la désoxydation et la recarburation. Il n'y a pas lieu, ici, de procéder à un décrassage, qui perdrait du temps et refroidirait le métal, car l'effet de la scorie sur les additions, quelles qu'elles soient, est négligeable.



Aciérie Bessemer américaine. — Type Forsyth.

1. Elévateur de poche à fonte. — 2. Voie suspendue de poche à fonte. — 3. Convertisseurs. — 4. Grue de réception de la poche à acier. — 5. Grue de coulée. — 6. Grues de démoulage. — 7. Grue à changer les poches. — 8. Chantier de préparation des poches à acier. — 9. Voies à lingots. — 10. Cubilots à spiegel.

OPÉRATION ACIDE. — ALLURES PARTICULIÈRES

Allure chaude par excès de silicium. — L'élévation de la température du métal se produit, dans l'opération acide, dès le début de la coulée, puisqu'elle est due à la combustion du silicium ; de sorte que, pour les coulées trop chaudes, l'acier restant soumis à une température exagérée éprouve de ce chef de profondes modifications.

La présence du silicium, visible sur l'échantillon de fonte, permet de prévoir l'allure de l'opération ; des fontes très silicieuses donnent

promptement une flamme jaune renfermant des gaz carbonés. La période où s'effectue la seule combustion du silicium et du manganèse est très réduite, et même complètement supprimée quand la température est très élevée. Il n'y a qu'une faible quantité d'oxygène qui puisse traverser le bain sans réagir; cet oxygène se combine en tout cas dans la panse avec l'oxyde de carbone; la flamme s'allonge, devient brillante, présente au spectroscope les raies caractéristiques du carbone, avec les raies secondaires dans le bleu. Les projections restent métalliques pendant quelques minutes, car la scorification est encore trop peu avancée pour que le métal soit recouvert d'une couche épaisse de crasse. Malgré l'accroissement de la pression intérieure, le soufflage reste facile, à cause de la fluidité du métal.

La décarburation, commencée plus tôt, traîne en longueur; le fer s'oxyde et se scorifie en quantité notable; le métal final, bien qu'oxydé, reste riche en silicium et manganèse. A l'inverse de ce qui se passe dans l'opération basique, l'opération acide trouve en elle-même un frein à l'accroissement de la température : le bain, qui a été trop échauffé par la combustion du silicium, se refroidit spontanément pendant la décarburation, à cause de la quantité de chaleur considérable qu'emportent les gaz; la température finale peut donc être convenable malgré une allure très chaude.

Ainsi que dans le procédé basique, les additions métalliques solides sont employées pour régulariser les opérations; mais, comme la période thermogène est suivie d'une longue décarburation, l'emploi des fontes est plus facile que dans la conversion basique, où l'addition de métaux carburés amenait une perturbation dans l'allure chimique.

On prend de préférence des fontes, au lieu de chutes d'acier, parce que la fonte possède en elle-même de l'énergie thermique, grâce à ses impuretés; on réserve à cet usage des fontes dont la qualité ne supporterait pas une fusion au cubilot : fontes de transition, trop froides, — débris de lingotières hors service. Ces produits sont chargés avant la fonte liquide; au besoin, on en fait une addition supplémentaire en cours de marche. Dans les dernières minutes de la conversion, on ne chargera jamais que des chutes d'acier, qui n'auront point d'influence sur la composition chimique du bain.

On a essayé d'insuffler de l'air humide dans le but d'abaisser la température par la dissociation endothermique de la vapeur d'eau; c'est un moyen énergique, mais peu économique, puisqu'on perd tout

l'excès de chaleur; en outre, il agit désavantageusement sur la durée des garnissages et des tuyères.

Allure chaude par excès de manganèse. — Les fontes dont la teneur en manganèse est supérieure à la normale donnent, après décarburation, un métal plus manganésé, et par suite plus dur, qu'en allure normale; la scorie, moins acide, est très fluide, ronge le garnissage, conserve une couleur vert clair, vu sa teneur élevée en manganèse, et faible en oxyde ferreux. Le fer s'oxyde en moindre proportion; mais le déchet total ne s'en trouve guère diminué, puisque tout le manganèse est perdu pour le métal.

A ces fontes fortement manganésées et trop chaudes, on peut faire des additions de fontes froides pauvres en manganèse, particulièrement des fragments de lingotières, ou mieux de fonds de lingotières.

Conséquences d'une allure trop chaude. — Lors des coulées trop chaudes, le métal affiné au même degré que celui des coulées normales est plus oxydé, car la solubilité du protoxyde de fer s'accroît avec la température. La recarburation exige donc une plus grande quantité d'additions désoxydantes, perte à laquelle s'ajoute encore une augmentation du poids des projections, que la violence des réactions entraîne avec plus de facilité.

Les coulées chaudes, particulièrement celles qui sont très riches en manganèse, usent beaucoup les revêtements. L'action corrosive de la scorie n'est pas augmentée par un excès de silicium dans la fonte; elle est quelquefois si acide qu'elle devient visqueuse, et donne lieu à des garnissages sur divers points de la cornue.

Malgré des additions anormales, le métal trop chaud tend à présenter des soufflures; la présence du silicium le rend cependant plus calme que l'acier Thomas surchauffé, et l'empêche de déborder hors des lingotières en moussant. La surface remonte régulièrement, se solidifie, puis subit un tassement, en produisant d'importantes soufflures dans le tiers supérieur du lingot.

Allure froide par emploi d'une fonte chimiquement froide. — Quand on doit traiter des fontes trop froides, on leur ajoute, dès le début du soufflage, du ferrosilicium et, s'il y a lieu, du ferromanganèse, jetés par fragments dans la cornue. Il est plus facile de porter remède à une coulée froide acide qu'à une coulée froide basique : si,

en effet, après le départ du silicium sur lequel seul on doit compter pour réchauffer le métal, l'opération paraît froide, il est temps de faire les additions convenables, dont l'effet se manifestera pendant la longue période de décarburation. Si, de même, on s'aperçoit que la décarburation entraîne un refroidissement exagéré, il est toujours possible de charger des additions avant qu'elle soit terminée.

Opération sur garnissage trop froid. — Les coulées faites sur un fond neuf présentent peu de différences avec les coulées normales, car le fond est généralement posé chaud, de sorte qu'il n'emprunte que peu de chaleur à l'opération même. Le joint, garni de matières réfractaires peu humides, sèche rapidement, sans que sa cuisson nécessite un arrêt de longue durée; le remplacement d'une ou de plusieurs tuyères n'influe aucunement sur la température de l'opération suivante, en raison du faible poids de ces pièces.

Un convertisseur resté dans l'inaction pendant quelques heures se refroidit notablement; mais, souvent, l'abaissement de sa température n'est pas assez fort pour nécessiter un chauffage au coke : il suffit, pour réchauffer la première coulée, d'avoir recours au ferrosilicium.

Par suite de la longue durée des garnissages acides, la mise en service d'un appareil à revêtement complètement neuf est un fait pour ainsi dire exceptionnel. La seule modification que puisse, en ce cas, subir le bain, est une variation de température, puisque les matériaux réfractaires n'ont pas d'influence chimique sensible sur l'acier; il en résulte qu'aucune disposition particulière n'est à prendre vis-à-vis du métal.

La conversion acide est donc beaucoup plus simple que la conversion Thomas; on remédie sans peine aux perturbations qui peuvent se présenter, puisqu'elles sont peu nombreuses et sans grandes conséquences.

Conséquences d'une allure trop froide. — Le métal a beaucoup moins à souffrir d'une trop basse température que d'un échauffement violent; la présence de l'oxyde de fer est très rare dans les métaux traités à faible température, et leur texture conserve son aspect et ses qualités normales. Cependant, pour la coulée en lingotières, l'acier trop froid est prédisposé aux soufflures disséminées, surtout l'acier Bessemer, qui reste calme et se solidifie rapidement.

A chaque qualité d'acier correspond une température favorable à

sa fabrication, et un intervalle dans lequel cette température peut varier sans que le métal en souffre profondément. Les aciers très doux sont meilleurs trop froids que trop chauds, car ils conservent moins d'oxydes en suspension, et leur vivacité supplée à leur manque de fluidité; au contraire, il est préférable que les aciers durs, dont la haute teneur en éléments réducteurs laisse fort peu de protoxyde de fer, soient obtenus à l'état de surchauffe plutôt qu'à température trop basse.

ACCIDENTS DE MATÉRIEL SURVENANT PENDANT LE SOUFFLAGE

Les accidents de matériel qui surviennent pendant la conversion ou le décrassage n'ont, en principe, aucune influence sur la composition ou la chaleur du métal, mais ils peuvent entraîner l'inutilisation d'une charge entière et la mise hors service momentanée d'un appareil. On doit donc posséder des dispositifs particuliers, permettant de réduire autant que possible de semblables inconvénients.

Avaries au fond du convertisseur. — Quand le fond du convertisseur s'est corrodé jusqu'au voisinage de la plaque en fonte qui l'arme, les cuvettes formées au nez de chaque tuyère peuvent se creuser jusqu'à cette plaque, qui se trouve alors exposée au contact du bain. De même, un joint mal cuit, insuffisamment compact entre les parois et le fond, peut céder brusquement et mettre la plaque à nu; l'acier s'écoule alors dans la boîte à vent, parce que la pression de l'air n'est plus en rapport avec le diamètre du trou qui s'est formé; dispersé par le vent, le métal liquide brûle le joint de corde qui rend étanche la fermeture du couvercle, et s'échappe en étincelles qui signalent ainsi l'accident.

On rabat alors immédiatement la cornue pour voir où se trouve la percée; si elle s'est produite assez loin du diamètre parallèle à l'axe des tourillons de manœuvre, on peut continuer l'opération en inclinant la cornue du côté opposé à celui de l'avarie; de cette manière, la pression statique du métal au point endommagé est moindre, puisque la couche d'acier est plus mince, et peut être contre-balancée par la pression dans la boîte à vent, malgré les dimensions anormales du trou de la nouvelle tuyère. L'opération est donc achevée par soufflage en travers; l'affinage est moins rapide, parce que l'air

ne passe plus régulièrement sur toute la surface du fond, et s'échappe par l'ouverture accidentelle sans produire tout son effet; des projections nombreuses, d'épaisses fumées d'oxydes s'échappent du bec ; le bain reste fortement oxydé. Dans l'incertitude où l'on se trouve alors quant au poids de métal final, on achève toujours ces opérations par des additions exagérées de désoxydants destinés à produire des aciers doux. Le soufflage en travers peut, sans inconvénient, durer quelques minutes; en raison des pertes qu'il produit, il n'est pas économique de le prolonger trop longtemps. Il vaut souvent mieux couler le métal comme boccages, plutôt que d'achever la conversion; on y est forcé, d'ailleurs, quand l'avarie s'aggrave et met en danger la cuirasse de la cornue.

Avaries au garnissage. — Une percée survenant sur les parois latérales de la cornue constitue un dangereux accident, surtout quand elle se présente du côté de la panse, car alors, quelque position que l'on donne au convertisseur, elle est atteinte par le métal, principalement lors de la coulée en poche ; il faut se résoudre à brûler la cuirasse et opérer rapidement la vidange en poche. L'accident est moins grave s'il se produit au dos du convertisseur : on peut rabaisser celui-ci pour procéder à une réparation grossière, puis terminer la conversion par un soufflage en travers, qui laisse le métal et la scorie au-dessous de la place corrodée. Ces accidents sont rares; on peut les éviter en inspectant soigneusement les parois, quand le garnissage commence à s'amincir.

S'il est impossible d'achever l'opération, on coule le métal tel quel, dans des lingotières hors de service qu'on remplit d'abord partiellement avec des scraps, pour que la fonte qu'on y va verser n'adhère pas aux parois; les lingots ainsi obtenus sont envoyés aux fours Martin.

Avaries aux appareils d'injection de vent. — La pression dans la boîte à vent peut diminuer et s'annuler subitement, par suite d'une rupture de conduite, ou d'un brusque arrêt de la soufflante. Le métal s'infiltre alors par les tuyères — à moins que le refroidissement soit tel qu'il les obstrue en s'y solidifiant — puis perce la boîte à vent et s'écoule à terre. Le machiniste préposé à la manœuvre des cornues a généralement le temps d'en opérer le rabattement avant que le métal n'ait percé le fond, à moins que la distribution hydraulique ne soit aussi hors de service.

Avaries aux appareils de manœuvre. — Les accidents les plus à redouter sont ceux qui surviennent dans les organes de manœuvre, soit pendant un mouvement, par rupture d'une pièce, soit à un instant quelconque, par manque d'énergie. Les cylindres hydrauliques sont munis généralement de soupapes d'arrêt automatiques, immobilisant la cornue dans sa position, tant qu'un flux d'eau sous pression n'y est pas envoyé. On évite ainsi tout faux mouvement et tout renversement en cas d'arrêt dans l'alimentation en eau, et on a le temps de parer aux événements.

La situation la plus critique qui puisse se présenter est celle d'un convertisseur chargé, dans la position horizontale, auquel la pression d'eau vient à manquer : le poids de la panse peut suffire à amener le déversement complet ; on ne peut, pour se tirer d'affaire, essayer qu'un seul mouvement : redresser la cornue verticalement, après avoir donné le vent, et la vider ensuite par un soufflage prolongé.

On se trouve aussi réduit à cette extrémité, lorsque le convertisseur est en soufflage, ou prend spontanément cette position, sans qu'on puisse le rabaisser. Toute la charge doit donc être expulsée sous forme de projections. Par le sursoufflage, la fumée devient intense, la température s'abaisse, rend le métal visqueux, ce qui oblige à donner toute la vitesse à la soufflante. On recouvre à la hâte de poussières ou de vieilles tôles les planchers métalliques et les appareils voisins, avant que les projections ne deviennent trop abondantes ; ce sont des scories peu fluides renfermant de l'oxyde de fer, du fer métallique, mélangés à la chaux et aux éléments du garnissage. Peu à peu, les nuages diminuent, disparaissent, la flamme tombe, devient invisible ; la pression de soufflage s'abaisse, témoignant que rien de liquide ne subsiste dans la cornue : on arrête alors le vent, on refroidit en les arrosant les abords du convertisseur, pour qu'on puisse s'en approcher et réparer les dégâts. Les projections recueillies ne sont pas perdues : on peut les repasser au haut-fourneau. Quant au garnissage, il est mis hors d'usage, et doit être entièrement refait à neuf; souvent même la cuirasse est percée en certains endroits où le revêtement a été le plus attaqué.

Accidents concernant la poche de coulée. — Le chariot ou la grue qui portent la poche à acier peuvent subir des avaries qui les immobilisent momentanément : la charge qui se trouve en traitement dans la cornue est donc exposée à attendre la fin d'une réparation avant d'être coulée. On la soufflera donc aussi chaude que possible,

on ne la décrassera pas, et on fermera le bec de la cornue avec une tôle empêchant le rayonnement et la convection ; elle peut attendre ainsi de quinze à trente minutes. On prendra en même temps des dispositions pour couler rapidement : emploi d'une busette de fort diamètre, préparation des lingotières à proximité des convertisseurs, réchauffage de la poche à acier.

Quand le métal ainsi conservé dans la panse commence à dégager des étincelles, c'est l'indice d'un commencement de solidification, ne permettant pas une plus longue attente.

Si tout espoir est perdu, on vide la charge dans une poche briquetée, amenée sur un plateau de cuve à crasse, sous le convertisseur même, ou bien on la souffle jusqu'à scorification complète, en versant le résidu à terre ou dans une cuve à scorie.

Cependant, lorsque, après l'apparition des premiers signes de la solidification, on n'a plus que peu de temps à attendre avant que la poche soit prête, on peut réchauffer le métal en chargeant sur lui de la fonte liquide, ainsi que du ferrosilicium fondu par mélange avec cette fonte ; cette addition sera aussi considérable que le permettra la capacité de la poche à acier. On soufflera le mélange pendant le temps nécessaire pour la conversion de la fonte neuve, et on prendra une éprouvette, car aucun des signes indicateurs de la fin de la conversion ne se présente nettement. En agissant ainsi, on peut éviter la perte du métal et du garnissage.

Un arrêt imprévu de l'aciérie peut laisser une poche à fonte remplie de métal. Si l'on peut craindre une solidification de celui-ci, c'est-à-dire un arrêt de plus de trois heures, on verse la fonte à terre dans des rigoles en sable, ou mieux dans les lingotières qui servent à la coulée en gueusets. Quel que soit l'état du métal, il est toujours préférable de le perdre plutôt que de bloquer un appareil, poche ou convertisseur, et de produire des loups de fonte dont la manœuvre et le cassage sont toujours onéreux.

CHAPITRE VI

RECARBURATION. — COULÉE EN POCHE

DÉSOXYDATION ET DURCISSEMENT DU BAIN

Le métal qui a été soumis à la conversion tient en dissolution de l'oxyde de fer, dont la proportion peut atteindre 1,1 0/0; le métal Thomas fortement sursoufflé est toujours le plus oxydé; l'acier Bessemer obtenu par décarburation incomplète l'est peu, grâce au carbone et au manganèse qu'il renferme encore.

Toute fonte traitée par conversion jusqu'à décarburation complète donne un métal qui reste rouverin, et ne deviendra utilisable qu'après élimination de l'oxyde dissous, au moyen d'un réducteur énergique. Au contraire, une fonte non phosphoreuse, riche en manganèse et incomplètement décarburée produit, sans additions, un acier malléable, car le fer oxydé s'y trouve en faible proportion, une réduction partielle s'étant produite par le carbone et le manganèse subsistant dans le métal. Le procédé Bessemer acide donne donc des aciers laminables, sans le concours d'aucun désoxydant, si la décarburation n'a pas été poussée à fond.

Dans la majorité des cas, néanmoins, la conversion acide est poussée jusqu'à élimination complète du carbone ; par principe, le procédé Thomas implique cette condition. Le soufflage doit donc être suivi d'une réduction, destinée à faire disparaître le manque de malléabilité à chaud, et d'un durcissement procurant au métal les qualités de résistance et de ténacité qui lui sont demandées. Ces deux résultats sont obtenus simultanément au moyen des mêmes réactifs, les réducteurs industriels étant également des durcissants pour le fer.

Comme toutes les réactions sidérurgiques nécessitent, pour être

complètes, un excès de réactif, la désoxydation du bain après conversion ne peut être pratiquée qu'avec un réducteur dont un excès ne sera pas nuisible pour l'acier. Ceux qu'on emploie d'ordinaire sont : le manganèse, le silicium, le carbone et l'aluminium; les deux premiers sous forme d'alliages de fer carburés; le carbone soit en combinaison avec les métaux, soit quelquefois pur ; l'aluminium pur ou combiné avec le fer. L'action d'un désoxydant sera d'autant plus rapide et complète qu'il sera plus pur; l'usage en est aussi facilité, car la matière inerte à laquelle est uni le réactif diminue l'affinité de celui-ci pour le bain.

Quelles que soient les teneurs particulières en éléments réducteurs d'un groupe de réactifs ajoutés simultanément à un bain oxydé, chacun d'eux se combine partiellement et concourt au résultat final suivant une proportion variable avec son affinité propre et les circonstances externes. Ainsi, une addition manganésée et carburée faite à un métal après conversion le désoxyde et le durcit par son manganèse et son carbone. La proportion de ces deux éléments augmente dans le bain, tout en restant inférieure à la moyenne des teneurs du bain et de l'addition. Les réactions tendent à se produire dans le même ordre que pendant la conversion :

$$2FeO + Si = SiO^2 + 2Fe$$
$$FeO + Mn = MnO + Fe$$
$$FeO + C = CO + Fe$$
$$3FeO + 2Al = Al^2O^3 + 3Fe$$

Dans tous les cas, le produit final de la désoxydation est du fer métallique, qui repasse dans le bain, et un oxyde solide ou gazeux ; les oxydes solides, tous plus légers que le fer, s'en séparent par différence de densité; l'oxyde de carbone s'échappe, ou se dissout dans l'acier.

Le poids de réactif employé est toujours faible par rapport au poids total d'acier liquide, de 0,5 à 8 0/0 ; un mélange intime doit venir en aide à la diffusion naturelle, pour que la désoxydation soit égale et complète en tous points. Quand les additions sont chargées à l'état liquide, on agite immédiatement le mélange ; dans le cas contraire, il convient de les porter au rouge avant de les enfourner, et d'attendre leur fusion avant le brassage.

La réaction entre les éléments en présence n'est pas instantanée, même s'ils sont liquides, comme une précipitation par voie humide. La séparation des produits de la réduction se fait assez lentement,

vu leur ténuité et l'attraction moléculaire qu'exerce sur eux le métal qui les environne. La mise en lingotières ne doit être faite qu'après un temps assez long pour que la réaction soit suffisamment complète, et que la qualité du métal varie fort peu entre le début et la fin de la coulée.

RÉDUCTEURS SIDÉRURGIQUES

Alliages manganésés. — De tous les réducteurs qu'emploie la sidérurgie, le manganèse est le plus ordinaire, tant à cause de son prix relativement bas que pour ses propriétés : grande analogie avec le fer, heureuse influence sur la malléabilité des aciers oxydés ou sulfureux, vive affinité pour le carbone. Le manganèse s'unit au fer en toutes proportions ; les alliages contenant de 6 à 80 0/0 Mn sont produits au haut-fourneau, dont la continuité de marche leur assure une grande régularité. Leur teneur en carbone croît lentement, avec celle en manganèse, jusqu'au maximum de 7 0/0 de carbone ; quelques alliages courants suffisent donc pour qu'on puisse obtenir avec eux des mélanges où carbone et manganèse seront dans des rapports quelconques ; les plus usités sont les suivants :

	Si	Mn	C	Ph
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Spiegel à 5 0/0 (petit spiegel)	0,45	6,30	4,65	0,075
Spiegel à 10-12 0/0........	0,50	11,60	5,10	0,080
Spiegel à 18-20 0/0........	0,80	19,50	5,95	0,080
Silico-spiegel à 18-20 0/0...	10,50	18,20	2,10	0,060
Ferromanganèse à 65 0/0..	0,40	64,50	6,10	0,090
— à 80 0/0..	0,45	80,20	7,00	0,095

Les spiegels servent pour la recarburation des aciers durs et demi-durs, soit purs, soit mélangés au ferromanganèse. Celui-ci est réservé pour l'acier doux ; il doit être d'autant plus riche en manganèse que les bains sont plus oxydés : le métal Thomas est toujours désoxydé par du ferro à 80 0/0 pour la production d'acier extra-doux. Le silicospiegel réunit en lui les propriétés du manganèse et du silicium, mais sa teneur en carbone est inférieure à celle qui résulterait d'un mélange de ferrosilicium et de spiegel.

Les alliages manganésés peuvent être employés seuls au raffinage et à la recarburation ; ils apportent le désoxydant et le durcissant, sans toutefois procurer aux métaux fort oxydés par un affinage prolongé le calme et la compacité nécessaires pour l'obtention de bons lingots sans soufflures; c'est pour compléter leur action à ce point de vue qu'on leur adjoint les alliages siliciés et l'aluminium.

Alliages siliciés. — Le silicium est un désoxydant énergique, en raison de sa vive affinité pour l'oxyde de fer; les alliages siliciés employés seuls peuvent raffiner chimiquement un bain métallique oxydé. Un excès de silicium est cependant plus nuisible qu'un excès de manganèse; le métal final est cassant, sec, sujet à criquer pendant le laminage. Peut-être les accidents que l'on attribue à la présence du silicium sont-ils produits par la silice ténue que le métal tient en suspension, et que les procédés de dosage courants ne distinguent pas du métalloïde.

Les additions mixtes de manganèse et silicium n'offrent pas ces inconvénients, soit que le manganèse conserve dans le mélange les propriétés qu'il possède quand il est seul, soit que la silice, saturée par l'oxyde de manganèse résultant de la réduction, forme une scorie fluide qui se sépare aisément du métal; l'addition manganésée doit donc être plus considérable que l'addition siliciée, afin que l'oxyde de manganèse soit en excès.

Le silicium, durcissant énergique, est employé avec le carbone pour la fabrication d'aciers durs et demi-durs, très élastiques, prenant une trempe notable sans fragilité excessive; à ce point de vue, il est préférable au manganèse. Il a une influence heureuse sur la solubilité et le dégagement des gaz pendant la solidification : une addition silicieuse restreint ce dégagement, réduit la remonte du métal, et favorise l'obtention de lingots à tête unie et propre.

Les alliages siliciés sont de deux sortes : les uns, dont la teneur en silicium ne dépasse pas 15 0/0, sont produits au haut-fourneau en allure très chaude et en marche lente; les autres, qui atteignent 50 0/0 de silicium, sont dus à l'industrie électrochimique. Tous sont pauvres en carbone.

	Si	Mn	C	Ph
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Ferrosilicium à 10-12 0/0......	11,90	1,70	1,90	0,055
Silico-spiegel à 10 0/0.........	10,50	18,20	2,10	0,060
Ferrosilicium électrochimique à 24 0/0	26,00	0,40	0,70	0,090
Ferrosilicium électrochimique à 50 0/0	49,80	0,35	0,35	0,040

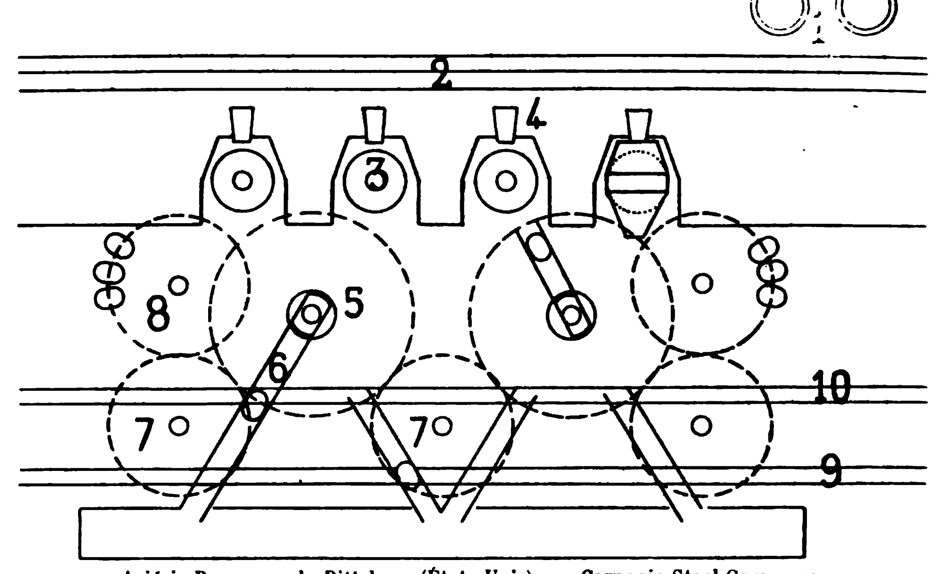
Les produits électrométallurgiques ont un aspect brillant qui les distingue nettement des fontes. L'alliage à 24 0/0 est très dur et résistant, difficile à casser ; sa couleur est d'un blanc jaunâtre. Au-dessus de 45 0/0, l'alliage devient au contraire très friable et présente des grains bleutés rappelant l'antimoine. Il est prudent de conserver les produits à haute teneur à l'abri de l'air humide, car l'oxydation suffirait à les déprécier ; on les expédie en tonnelets de 100 kilogrammes, ou en bidons métalliques scellés. Le ferrosilicium pulvérulent a l'avantage de se dissoudre très rapidement dans un bain d'acier, malgré sa température de fusion élevée ; on l'ajoute, comme l'aluminium, dans la poche de coulée, où il sert de correctif et de calmant.

Réduction par le carbone. — Le carbone peut, sous un état physique quelconque, servir de réducteur à un bain métallique ; mais la réaction n'est pas assez vive, assez intense pour que son emploi exclusif entraîne une désoxydation complète ; ici encore le manganèse est indispensable. L'affinité du carbone pour le fer est telle que sa dissolution dans le métal est presque instantanée, et sa diffusion très rapide. C'est alors seulement qu'il agit sur l'oxyde de fer ; mais l'avidité du métal pour le carbone est précisément un obstacle à l'action de ce dernier sur l'oxyde.

L'oxyde de carbone qui se produit reste, en grande partie, dissous dans l'acier. Cette formation est lente ; elle se continue dans la lingotière, et même après solidification. Les aciers raffinés au carbone présentent les mêmes défauts que les aciers désoxydés au silicium, même à un degré supérieur. Ils sont en outre fortement soufflés ; ils restent mousseux, remontent lors de la solidification, bien que leur composition chimique corresponde à une grande dureté. On contrebalance ces effets au moyen d'additions silicomanganésées.

Le carbone est employé sous les trois états suivants : coke, gra-

phite, houille anthraciteuse. On peut filtrer l'acier sur une couche de coke, ou disposer dans la poche des briquettes de coke pulvérulent aggloméré au lait de chaux, qui se dissolvent rapidement, en raison de leur peu de cohésion. On l'emploie plutôt en fragments que l'on jette dans la poche pendant la coulée. La houille anthraciteuse est lavée et concassée, de manière à obtenir des morceaux d'égale grosseur, dont le coefficient d'utilisation reste sensiblement comparable à lui-même ; des fragments inégaux se combinent de façon très variable, et laissent une grande incertitude sur le résultat final.



Aciérie Bessemer de Pittsburg (États-Unis). — Carnegie Steel Company.

1. Cubilots à spiegel. — 2. Voies des poches. — 3. Convertisseurs à bec concentrique. — 4. Couloirs pour la fonte et le spiegel. — 5. Grues de coulée. — 6. Ponts de coulee. — 7. Grues à retourner les poches pour les nettoyer et les préparer à la coulée. — 8. Grues à changer les poches. — 9. Voie des wagonnets porteurs de lingots. — 10. Voie de décrassage.

Aluminium. — L'aluminium sert plutôt comme correctif que comme réducteur ; son prix élevé rendrait la désoxydation très onéreuse ; d'ailleurs, un excès de ce métal (au delà de 0,05 0/0) rend l'acier cassant et peu malléable. On l'ajoute donc après désoxydation au manganèse, carbone ou silicium, pendant la coulée en poche ou la coulée en lingotières. Il est très utile dans la fabrication des aciers très doux, enclins à rester oxydés; sa vive affinité pour l'oxygène épure complètement le métal, réduit même la silice et l'oxyde de manganèse restés en suspension.

L'aluminium employé comme calmant, pendant la mise en lingotières et la solidification, est encore supérieur au silicium. On l'emploie à l'état pur, ou allié au fer. Les ferroaluminiums à 50 0/0 sont assez peu en usage, car leur activité est bien inférieure à celle d'un métal à haute teneur; l'électrométallurgie donne des alliages à 95 0/0 d'aluminium, qui sont d'un emploi plus pratique et plus économique.

DÉTERMINATION DES ADDITIONS

La spécification de la nuance d'acier qu'il convient d'obtenir est faite par l'indication, soit de la résistance à la traction, soit de la composition chimique.

Quand on connaît la composition exacte d'un métal après soufflage, il est facile de calculer quelles additions lui doivent être faites, pour obtenir une composition finale donnée. En pratique, on n'a recours au calcul que lors d'une fabrication nouvelle; en travail courant, les additions sont réglées d'après les résultats qu'ont fournis les opérations précédentes. Cette détermination est faite par rapport à l'unité de poids du métal total chargé, fonte liquide et additions métalliques solides, tant que la perte au feu par la conversion reste sensiblement constante; si elle semble varier pendant une opération quelconque, on estime approximativement le déchet supplémentaire qui en résulte.

Réglage de l'addition. — Acier doux. — On commence la fabrication d'après les indications expérimentales des opérations analogues; on la conduit ensuite en se basant sur les signes distinctifs de la coulée et les prises d'essais.

La spécification d'un acier doux se fait sous la forme suivante :

Résistance par millimètre carré ..	42	à	46 kilogrammes
Mn...........................	0,40	—	0,50 0/0
Ph...........................	0,060	—	0,080 0/0
C...........................	0,11	—	0,14 0/0

L'indication seule de la résistance serait insuffisante, car la dureté peut être due au phosphore, au carbone, au silicium ou bien au

manganèse et au carbone. La nuance précédente, en acier Thomas, convient pour les poutrelles et les aciers de construction.

Supposons que la première opération faite en vue d'obtenir cette qualité donne comme résultats :

R = 45kg,5
Mn = 0,54 0/0
Ph = 0,095 0/0

on en déduit que la coulée n'a pas été assez soufflée, et que, pour une coulée suffisamment soufflée, les additions que l'on a faites seraient insuffisantes; le réglage de la conversion précède donc nécessairement le réglage des additions. Quand la durée de soufflage est bien déterminée, on fait varier la quantité de désoxydants pour atteindre la qualité demandée.

Si la seconde opération est caractérisée par :

R = 47 kilogrammes
Mn = 0,55 0/0
Ph = 0,065 0/0
C = 0,11 0/0

les additions ont été trop considérables.

Les résultats suivants :

R = 47 kilogrammes
Mn = 0,52 0/0
Ph = 0,075 0/0
C = 0,10 0/0

montrent que, dans le désoxydant, le rapport entre le carbone et le manganèse est trop faible; on devra donc employer des ferromanganèses à moindre teneur en manganèse, ou un mélange de ferro et de spiegel.

On fera des modifications en sens inverse, si la dureté ou la teneur en manganèse restent inférieures à la limite indiquée. Quelquefois, dans la fabrication d'un métal extra-doux, on n'arrive pas à une teneur en manganèse suffisante pour assurer un bon laminage, malgré l'emploi du ferro le plus riche et bien que la dureté soit voisine du maximum. Cet insuccès provient généralement d'une déphosphoration trop intense; le fer, oxydé outre mesure, nécessite trop de manganèse pour sa désoxydation, et le carbone, avec ses propriétés dur-

cissantes, reste intact dans le métal. On y remédie en réduisant le soufflage et les additions; il est rationnel aussi de désoxyder partiellement avec un silico-spiegel peu carburé, mélangé au ferromanganèse.

Réglage de l'addition. — Acier dur. — On règle de la même manière les additions pour la fabrication d'acier dur. Mais, en ce cas, une même erreur relative sur le poids de l'addition produit une modification finale plus considérable. Soit, en effet, à obtenir, avec un bain convenablement soufflé, de l'acier doux à 42 kilogrammes de résistance, — et de l'acier dur à 70 kilogrammes. La résistance du fer fondu, avant addition, est voisine de 35 kilogrammes. L'addition durcissante produit donc dans un cas un accroissement de résistance de 7 kilogrammes ; dans l'autre, un accroissement de 35 kilogrammes ; si l'on admet que, aux environs des points considérés, le durcissement est proportionnel au poids de l'addition, une erreur relative de 10 0/0 causera dans le premier cas une modification de $0^{kg},7$ dans la résistance, et dans le second une différence de $3^{kg},5$. Il est donc plus difficile d'obtenir une régularité parfaite dans la fabrication des aciers durs que dans celle des aciers doux.

Soit un acier dur Thomas pour rails, caractérisé par :

R	=	65	à	75 kilogrammes
Mn	=	0,80	—	0,90 0/0
Ph	=	0,070	—	0,085 0/0
C	=	0,31	—	0,35 0/0

on recarbure avec du spiegel liquide à 12 0/0, la durée du soufflage étant déterminée; le premier essai donne :

R	=	76 kilogrammes
Mn	=	0,98 0/0
Ph	=	0,080 0/0
C	=	0,29 0/0

Il faut donc diminuer de 1/8 l'action du durcissant et employer un alliage plus carburé ; on chargera au cubilot un spiegel moins riche en manganèse, ou bien un mélange : 1/3 de spiegel à 6 0/0 avec 2/3 de spiegel à 12 0/0.

On pourrait aussi diminuer simplement le poids de spiegel, et recarburer en même temps à l'anthracite ou au coke.

Si, au contraire, on obtient les chiffres suivants :

R = 67 kilogrammes
Mn = 0,74 0/0
Ph = 0,075 0/0
C = 0,31 0/0

on emploiera un spiegel plus riche, ou une addition préalable de ferro, dont on peut négliger le carbone. La recarburation par additions mixtes de ferromanganèses, silico-spiegels riches et spiegel liquide, permet un réglage aisé, sans modification brusque de la charge du cubilot à spiegel. Le poids de manganèse qu'il convient d'ajouter à l'état d'alliage riche est égal à celui qui est strictement nécessaire pour la désoxydation sans recarburation, c'est-à-dire environ la moitié de ce qu'il conviendrait d'employer pour la production d'un acier extra-doux.

Addition de silicium. — Le silicium ne peut être employé seul comme désoxydant; il faut lui adjoindre le manganèse. Des anomalies apparentes peuvent se présenter dans l'emploi des additions mixtes ; elles sont dues à la vive affinité du silicium pour l'oxygène. Tantôt le silicium est utilisé presque en entier à la désoxydation, s'il est mis en contact avec le bain très oxydé, tantôt il subsiste dans le métal à l'état de métalloïde, si la désoxydation a déjà été partiellement réalisée par le manganèse. Pour éviter ces irrégularités, on fait l'addition siliciée en dernier lieu, lorsque le manganèse a réagi ; les avantages des ferrosiliciums pulvérulents à 50 0/0 viennent précisément de ce qu'on peut les ajouter pendant la coulée en poche.

La fusion au cubilot du ferro-silicium, soit seul, soit en présence d'alliages manganésés, est peu pratique, par suite de la perte de silicium qui en résulte toujours malgré une allure chaude ; les fontes silico-manganésées ainsi refondues perdent aussi une notable proportion de manganèse.

Addition de carbone. — Les inconvénients qu'offre le métal recarburé au coke ou à l'anthracite ne permettent pas d'employer ce procédé économique d'une manière courante. Cependant, les aciers doux trop manganésés peuvent être heureusement modifiés par une addition, faite dans la poche de coulée, d'anthracite sur lequel on verse l'acier désoxydé dans la cornue Le coefficient d'utilisation de l'anthracite varie, suivant son état physique, de 0,50 à 0,65 ; celui du

coke, qui renferme moins de produits volatils, atteint 0,75; il est d'ailleurs à remarquer que la désoxydation, dans la cornue, par le ferromanganèse, n'est pas complète, et se continue dans la poche de coulée, par l'action du carbone.

Pour la fabrication de l'acier dur, on réserve l'emploi du carbone aux cas exceptionnels où, par accident, la quantité de spiegel liquide est insuffisante : on y supplée par une addition de ferromanganèse et de carbone, coke ou anthracite, le poids de ces derniers étant égal au 1/10 du spiegel qui fait défaut.

Divers procédés ont été essayés en vue de réduire la consommation de ferromanganèse : introduction de carbone au milieu du bain soufflé; insufflation de gaz réducteurs ou de carbone pulvérulent. La méthode suivante est brevetée depuis quelque temps : on jette au convertisseur un poids de ferro égal à 0,5 de ce que nécessiterait une addition normale; la désoxydation et la recarburation sont achevées par une injection, dans la boîte à vent, de coke ou de graphite en poussière, qu'on introduit dans le métal par quelques secondes de soufflage.

La plupart de ces procédés n'ont donné que des résultats irréguliers et peu encourageants.

ADDITIONS NORMALES

L'addition normale, déterminée expérimentalement par chaque usine, variable avec la fonte, les dimensions de la cornue, l'allure générale des opérations, est calculée pour une tonne de métal enfourné, fonte et chutes d'acier, donnant après soufflage 880 kilogrammes d'acier dans le procédé Bessemer et 870 kilogrammes dans le procédé basique.

Quand on pratique la décarburation incomplète, les additions sont faibles, et ne servent qu'à éliminer les traces d'oxyde ferreux dissous qui ont échappé à la désoxydation spontanée du bain.

ANALYSE DU MÉTAL APRÈS CONVERSION				ANALYSE DU MÉTAL RAFFINÉ				RÉSISTANCE par millim. carr. EN KILOS	FERROMANGANÈSE à 80 0/0	FERRO à 60 0/0	FERROSILICIUM à 24 0/0	SPIEGEL à 12 0/0
Si	Mn	C	Ph	Si	Mn	C	Ph					
ADDITIONS NORMALES POUR UNE CHARGE INITIALE DE 1.000 KILOS. — CONVERSION ACIDE. — DÉCARBURATION INCOMPLÈTE												
Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100		Kilogrammes	Kilogr.	Kilogrammes	Kilogr.
0,22	0,35	0,09	0,070	0,20	0,48	0,105	0,070	45	2,0	—	—	—
0,22	0,36	0,11	0,070	0,21	0,55	0,13	0,070	50	—	6,5	—	—
0,24	0,38	0,20	0,070	0,22	0,70	0,32	0,070	65	—	—	—	60
0,24	0,38	0,20	0,070	0,22	0,80	0,38	0,070	75	—	—	—	70
ADDITIONS NORMALES POUR UNE CHARGE INITIALE DE 1.000 KILOS. — CONVERSION ACIDE. — DÉCARBURATION COMPLÈTE												
0,08	0,23	0,05	0,065	0,07	0,30	0,07	0,065	38	4,0	—	—	—
»	»	»	»	»	0,34	0,08	»	40	5,0	—	—	—
»	»	»	»	»	0,48	0,11	»	45	7,0	—	—	8,0
»	0,25	0,06	»	»	0,42	0,12	»	»	5,0	—	—	—
»	»	»	»	»	0,48	0,11	»	»	—	10	—	—
0,10	0,28	0,09	0,070	0,80	»	0,15	0,070	50	—	10	5	—
»	»	»	»	0,09	0,55	0,20	»	»	—	—	—	40
»	»	»	»	0,10	0,80	0,32	0,072	65	—	—	—	60
»	»	»	»	»	0,90	0,35	»	70	—	—	—	65
»	»	»	»	»	0,95	0,38	0,075	75	—	—	—	70

ADDITIONS NORMALES POUR UNE CHARGE INITIALE DE 1.000 KILOS. — CONVERSION BASIQUE

ANALYSE DU MÉTAL APRÈS CONVERSION				ANALYSE DU MÉTAL RAFFINÉ				RÉSISTANCE EN KILOGR. par millim. carr.	FERRO à 80 0/0	FERRO à 60 0/0	FERROSILICIUM à 24 0/0	SPIEGEL à 12 0/0	ANTHRACITE ou COKE
Si	Mn	C	Ph	Si	Mn	C	Ph						
Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100		Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
traces	0,22	0,03	0,060	traces	0,37	0,06	0,060	37	6,0	—	—	—	—
»	»	»	»	»	0,42	0,07	»	38	7,5	—	—	—	—
»	»	»	»	»	0,45	»	»	40	8,0	—	—	—	—
»	»	»	»	»	0,48	0,09	»	42	7,0	—	—	3,0	—
»	»	»	»	»	»	0,11	»	44	—	7,5	—	—	0,8
»	0,24	0,05	0,065	»	0,42	0,07	0,065	40	6,0	—	—	—	—
»	»	»	»	»	0,45	0,10	»	42	—	6,0	1,0	3,0	—
»	»	»	»	»	0,48	0,12	»	45	—	8,0	1,0	4,0	—
»	»	»	»	»	0,60	0,18	0,070	50	—	10,0	2,0	—	1,0
»	»	»	»	»	0,55	0,24	»	»	3,0	—	—	40,0	—
»	»	»	»	0,06	»	0,16	»	»	—	10,0	5,0	12	—
»	0,28	0,07	0,090	traces	0,65	0,24	0,090	55	2	—	—	40	—
»	0,22	0,03	0,060	0,03	0,85	0,31	0,070	65	2	—	—	75	—
0,02	»	»	»	»	0,80	0,32	»	»	—	—	—	78	—
»	»	»	»	»	0,70	0,34	»	»	—	—	—	70	1,0
»	»	»	»	0,10	0,75	»	»	»	—	—	6	70	—
»	»	»	»	0,03	0,90	0,35	»	70	2	—	—	78	—
»	»	»	»	0,04	0,85	»	»	»	—	—	3	80	—
»	»	»	»	0,03	0,95	0,40	»	75	—	—	—	85	—
»	»	»	»	0,05	0,90	»	»	»	—	—	6	78	—
»	»	»	»	0,03	0,75	0,31	0,110	65	2	—	—	78	—
»	0,24	0,05	0,065	»	0,80	0,32	0,075	»	—	—	—	75	—
»	»	»	»	0,04	0,90	0,40	»	75	—	—	3	80	—
»	0,28	0,07	0,090	0,03	0,95	0,30	0,100	65	2	—	—	70	—
»	»	»	»	»	0,90	0,38	»	75	—	—	3	80	—

Modifications aux additions normales. — L'addition normale doit subir des modifications dans la quantité ou le choix des matières qui la composent, lorsque des circonstances particulières troublent le résultat de la conversion ou l'activité des réducteurs; ces variations peuvent ne concerner qu'une seule coulée, ou s'étendre à une série d'opérations; dans ce dernier cas, la fonte, le convertisseur ou les additions mêmes en sont la cause.

Une fonte très manganésée conserve, après déphosphoration ordinaire, plus de manganèse et de carbone qu'en allure normale; le bain avant réduction est donc moins doux et, sans doute aussi, moins oxydé; on ajoutera donc moins de réducteur. — Le contraire aura lieu pour des fontes peu manganésées.

L'usure modifie la forme de la cornue; ainsi, au milieu d'une campagne, la panse et le cul sont plus larges qu'au début, de sorte que la hauteur du bain est moindre, ce qui réduit les pertes par projections. Un convertisseur neuf crache toujours plus qu'un appareil usagé; si les tuyères s'usent rapidement et se détachent par éclats, la perte au feu se trouve augmentée. Le poids du métal final varie en conséquence.

Dans les convertisseurs basiques, dont les briques sont agglomérées au goudron, le métal qui, après conversion, reste au contact avec la panse, se désoxyde et se recarbure quelque peu. Il est difficile d'apprécier les effets de cette réaction, qui varient avec la durée du contact et l'état des surfaces, de sorte qu'une opération faite pour acier dur sur un convertisseur neuf risque d'être incertaine; il vaut mieux la traiter pour acier doux. Les coulées suivantes peuvent être soufflées en acier dur, en diminuant d'abord le durcissant de 5 à 8 0/0, puis reprenant le réglage normal après quatre ou cinq opérations.

Une variation dans l'allure du cubilot à spiegel donne, tantôt une fonte très chaude et très carburée, tantôt une fonte froide, qui a perdu en partie son carbone et son manganèse, qui est peu fluide et reste adhérente à la poche; l'expérience seule indique en ce cas la modification à faire subir à l'addition.

Le poids final du métal peut varier avec la proportion des chutes ajoutées en cours de soufflage, la chute des garnissages du bec, l'importance des projections.

Les opérations incomplètement affinées, mais utilisables cependant pour les aciers courants, n'ont besoin que d'additions réduites. Un métal sursoufflé par erreur ou par accident de matériel deman-

dera plus de réducteur (10 à 15 kilogrammes par tonne de fonte acide, 15 à 20 kilogrammes par tonne de fonte basique). En particulier, les charges soufflées en travers, plus oxydées et présentant beaucoup de déchet, seront traitées comme des charges légèrement sursoufflées. D'une manière générale, toute opération trop oxydée ne pourra qu'être améliorée par une addition supplémentaire de 0^{kg},2 à 0^{kg},4 d'aluminium par tonne, jeté dans la poche avant la coulée.

MODE D'EMPLOI DES ADDITIONS

Quand une addition finale est chargée dans la cornue à l'état solide, son action est d'abord limitée à la surface extérieure des fragments tant qu'ils ne sont pas fondus ; une fois la fusion obtenue, la diffusion reste lente si on ne l'accélère pas par des moyens mécaniques. Cette fusion refroidissant sensiblement le bain, on ne dépasse pas, pour les additions solides, le chiffre de 15 kilogrammes par tonne.

Au delà de ce chiffre, on opère la fusion préalable des réducteurs ; mais, comme il serait malaisé de doser exactement de faibles quantités de métal liquide, on adopte une combinaison permettant de mélanger les éléments utiles à un poids inerte, de manière que le total de l'addition liquide atteigne au moins 45 kilogrammes par tonne.

Chauffage des additions solides. — Le chauffage des additions solides s'effectue sur la sole d'un petit four à réverbère, sans que l'on cherche à produire un commencement de fusion ; un foyer de 0^{m},40 sur 0^{m},50 suffit amplement ; on charge la houille par une toquerie latérale. Le cendrier est parfois fermé par une porte en tôle, ce qui permet de souffler avec un injecteur de vapeur, qu'on met en marche peu de temps avant la fin de l'opération, pour activer le chauffage.

La sole est plate, légèrement inclinée vers l'avant du four, pour être bien exposée à la flamme ; elle est en briques très dures, ou constituée par une plaque d'acier coulé qui dure indéfiniment sans se déformer. Une ou deux portes en fonte servent au chargement et à la sortie des fragments ; l'autel est très bas, et la voûte très près de la sole.

L'ensemble du four est en briques réfractaires ordinaires, armé

par des tirants et des plaques portant les ouvertures et la toquerie; la cheminée, de faible section, peut être montée en tôle, garnissée sur 4 mètres de hauteur. Pour éviter un long transport qui refroidirait les additions, on établit le four sur un châssis rectangulaire formé de quatre poutrelles, au niveau du plancher des convertisseurs.

Les additions manganésées et siliciées sont cassées en fragments de 4 à 8 kilogrammes; on les charge près du rampant de la cheminée, pour les rapprocher peu à peu de l'autel, jusqu'au défournement. Le four contient toujours les charges de deux ou trois opérations, à divers degrés de chauffage.

Le pesage des additions solides est effectué sur une bascule rudimentaire, dont le plateau est à hauteur du seuil de la porte du four; un peson placé à l'autre extrémité du fléau marque le poids demandé. Le ferromanganèse et le ferrosilicium sont pesés chauds; quand les additions comportent deux matières différentes, elles sont pesées successivement, la seconde l'étant par différence. Le plateau de la balance est vidé dans une brouette qui amène les fragments rouges devant le convertisseur en service, où on les jette à la pelle.

Les ferrosiliciums riches à 24 0/0 sont d'ordinaire ajoutés froids dans le convertisseur, car ils sont en petits fragments, dont la fusion est encore activée par la vive réaction du silicium ; un chauffage prolongé au four les oxyderait superficiellement.

Construotion des cubilots à spiegel. — Étant donnée la fréquence des opérations de conversion, la fusion des additions liquides ne peut être pratiquée au réverbère; en outre, cet appareil consomme beaucoup de combustible, et n'offre pas la régularité de production, en quantité comme en qualité, que peut donner le cubilot.

Le spiegel est la seule addition qu'on soit normalement appelé à fondre préalablement; elle dépasse généralement 60 kilogrammes par tonne de fonte traitée. Les cubilots sont construits de manière à fournir la quantité maxima employée pour une opération, dans les deux tiers de l'intervalle qui sépare deux opérations consécutives, afin qu'on puisse les entretenir, faire les menues réparations courantes, sans nuire à la marche des convertisseurs.

Cependant, on ne peut réduire leur diamètre à moins de $0^{m},60$, sinon les réparations intérieures deviennent trop difficiles; le seul inconvénient d'un cubilot trop large pour sa production sera une augmentation de la dépense de coke. La hauteur de la cuve, toujours

réduite, ne dépasse pas 2m,50 au-dessus des tuyères, aussi le gaz est-il d'ordinaire assez chaud pour s'enflammer au gueulard; mieux vaut employer une cuve ne contenant que 4 ou 5 charges, pour hâter les mises en service et les mises hors feu qu'exige la marche des laminoirs.

Les tuyères sont disposées sur une couronne au nombre de 6 ou de 8; vu la faible hauteur de la cuve, une pression de 15 centimètres d'eau suffit dans la boîte à vent. Le creuset neuf doit pouvoir contenir une charge supérieure à l'addition maxima demandée par une opération.

Les fontes manganésées rongent fortement les briques silico-alumineuses qui garnissent le creuset, aussi l'usure est-elle rapide depuis les tuyères jusqu'à la sole; il est d'usage de donner au creuset un diamètre intérieur notablement inférieur à celui de la cuve.

Le revêtement du cubilot se compose d'une chemise en briques dures résistant bien à l'usure mécanique; elle s'étend depuis la sole jusqu'au gueulard, sur 10 à 15 centimètres d'épaisseur; sur toute la hauteur soumise à la corrosion, cette cuirasse est protégée par un garnissage en briques alumineuses de 30 à 35 centimètres d'épaisseur, capable de résister à 70 ou 80 coulées. Le cubilot est mis hors feu dès que ce garnissage est presque entièrement usé, de sorte qu'il est inutile de remplacer la cuirasse extérieure et d'étayer la cuve pour le réparer. Pour une fabrication suivie, deux cubilots au moins sont nécessaires.

La sole est faite en briques posées sur champ, puis recouvertes de fraisil de charbon de bois.

BRIQUES POUR CREUSET DE CUBILOT A SPIEGEL

$$SiO^2 = 70{,}0\ 0/0,$$
$$Al^2O^3 = 26{,}0\ 0/0,$$
$$Fe^2O^3 = 1{,}0\ 0/0,$$
$$(CaO + MgO) = 3{,}0\ 0/0.$$

Conduite des cubilots à spiegel. — Les charges des cubilots à spiegel sont le plus souvent réglées de manière à fournir le poids d'addition correspondant à une opération; comme leur allure est chaude, une densité de charge élevée n'entraîne pas d'irrégularités. On brûle 130 à 160 kilogrammes de coke par tonne de spiegel; le poids de castine est 1,5 ou 1,8 fois celui des cendres, de manière que la scorie renferme au moins 25 0/0 de chaux. Une scorie trop

acide retient une notable proportion de manganèse, et déprécie la valeur réductrice du spiegel; en outre, le soufre du coke doit être saturé par le laitier, pour qu'il ne s'unisse pas au manganèse.

La scorie est filante et fluide, très chaude, elle est d'une couleur vert clair, et se solidifie en ruisseaux larges à surface convexe; trop froide, elle devient vert foncé ou noire, coule mal, sort du chio pâteuse, incomplètement fondue, mouchetée de points noirs et d'étincelles indiquant qu'elle entraîne des globules métalliques.

SCORIES DE CUBILOT A SPIEGEL

	Allure chaude Pour 100	Allure très froide Pour 100
SiO^2	44,20	42,00
Al^2O^3	8,90	4,90
$CaO + MgO$	26,50	18,70
MnO	13,50	26,90
FeO	6,10	8,40
S	0,90	0,60

La conduite du cubilot à spiegel est facile, car son allure est toujours chaude. Les accrochages sont rares; la plupart sont dus à ce que le feu s'élève trop haut; mais, grâce à la faible hauteur de cuve, on en vient facilement à bout dès qu'on arrête le vent.

Très souvent, on doit arrêter momentanément la production pendant quelques heures, sans vider la cuve par la porte du creuset. Cette pratique est nécessaire quand on interrompt le laminage d'acier dur. Il suffit en ce cas de suspendre le chargement, et de recouvrir la dernière charge d'une double ration de coke; puis, lorsque toute la fonte contenue dans le creuset est écoulée, on arrête le vent, et on ferme les tuyères. Le bouchage est défoncé, et bourré de charbon de bois étouffé sous du sable, pour que la scorie ne l'engorge pas en s'écoulant lentement du coke incandescent. Le creuset est garni de coke jusqu'au-dessus des tuyères; ainsi préparé, le cubilot peut être abandonné à lui-même pendant six à huit heures sans aucun inconvénient.

Les additions liquides ne peuvent être pesées avant la fusion, quand elle est opérée dans un appareil continu comme le cubilot, puisque les diverses charges se mélangent, et ne conservent pas leur poids initial. Pour la fabrication d'aciers durs de qualité très ordinaire (rails de mines, rails pour travaux publics), on peut supprimer cette pesée. Le chenal du cubilot est prolongé jusqu'auprès du convertis-

seur; la coulée se fait au jugé, d'après la contenance du creuset : quand celui-ci est rempli, des gouttes de métal apparaissent au chio.

Pour une fabrication régulière, on coule le spiegel dans une petite poche briquetée, qu'un chariot à voie inférieure ou suspendue conduit des cubilots aux convertisseurs. La poche est d'abord tarée sur une bascule; on y coule au jugé le poids nécessaire avec un léger excès ; un second pesage donne le poids exact du spiegel. En vidant la poche à spiegel dans la poche à acier, on y laissera l'excès que l'on vient ainsi de déterminer; on coulera ensuite ce restant à terre.

A chaque opération, la poche à spiegel est débarrassée de la fonte qui peut y être restée adhérente, et réchauffée au besoin. Dès qu'un garnissage métallique s'y forme, il augmente rapidement, en raison de la grande conductibilité du spiegel solidifié, qui refroidit immédiatement le spiegel liquide. On diminue le rayonnement du bain de spiegel en jetant à sa surface quelques pelletées de fraisil ou de menue houille.

CHARGEMENT DES ADDITIONS ET COULÉE EN POCHE

Procédé basique. — Additions solides. — La régénération du phosphore de la scorie par le manganèse, le silicium et le carbone oblige à exécuter, après la conversion Thomas, un décrassage soigné, afin que, pendant la désoxydation du bain, les réducteurs ne se trouvent pas en contact avec une masse importante de scorie.

Les additions solides sont ajoutées rouges, telles qu'elles sortent du four à réverbère. Les fragments, de 4 à 8 kilogrammes, sont jetés violemment à la pelle dans la cornue, où ils traversent la couche de scorie et s'enfoncent dans le métal liquide; on les jette aussi loin que possible du bec, pour qu'ils trouvent tout de suite une profondeur de métal et une température suffisantes. Si ces fragments étaient trop légers et mal chauffés, ils s'envelopperaient de scorie en la traversant, réagiraient sur elle, ne plongeraient pas dans le métal et seraient ainsi chargés en pure perte.

Les additions siliciées sont ajoutées de préférence après les alliages manganésés, sans quoi elles absorbent une grande partie de l'oxygène dissous dans l'acier et s'oxydent complètement, de sorte

que le métal final ne contient plus que des traces de silicium. Chargées au contraire lorsque le manganèse a commencé à réagir, elles ne subissent plus qu'une oxydation partielle, et le silicium subsiste dans l'acier.

Quelquefois, pour gagner du temps avec une coulée froide, on charge le ferromanganèse avant décrassage; si les fragments traversent la scorie encore fluide, la réaction se produit comme à l'ordinaire, toutefois avec une légère perte en éléments réducteurs. Cette pratique ne convient que pour des aciers ne dépassant pas 45 kilogrammes de résistance.

Si les additions sont enfournées bien chaudes, leur fusion s'effectue rapidement. Un bouillonnement se produit à la surface du bain, soulevant la scorie; c'est l'indice de la réaction du carbone sur l'oxyde de fer; bien que plus dense que l'acier, le ferromanganèse flotte, soutenu par le fait de la réaction, et tournoie sur lui-même jusqu'à ce qu'il soit fondu. Mais une vive agitation peut seule réaliser l'homogénéité du bain et la réduction complète de l'oxyde de fer : on balance la cornue plusieurs fois; le métal forme des remous, depuis le bec jusqu'aux tuyères; la contraction et l'épanouissement du flot produits par le rétrécissement du bec engendrent deux lames de fond qui se replient sur elles-mêmes, et entraînent les couches superficielles.

Si ces mouvements paraissent insuffisants, on agite le bain par une injection de vent assez courte pour ne pas oxyder le métal; on élève la cornue jusqu'à la position verticale et on la rabaisse immédiatement.

La durée de la fusion des additions solides varie de 4 à 7 minutes, après lesquelles l'acier peut être versé dans la poche de coulée. Cette opération provoque une agitation qui achève la diffusion et la réaction des réducteurs; les filets fluides riches en manganèse se trouvent mélangés par les remous de la chute, de sorte qu'après vidange de la cornue l'acier contenu dans la poche peut être considéré comme pratiquement homogène.

Pendant le versement de la cornue, il faut éviter que la scorie, qui s'est enrichie en oxyde et silicate de manganèse, ne se mélange avec le métal. Quelques pelletées de chaux en poussière déposées au bec épaississent la crasse, la solidifient; avec deux tampons formés d'une palette recourbée à angle droit sur un rond de 28 millimètres, on maintient la scorie dans la panse pendant que l'acier s'écoule par-dessous dès qu'on incline le convertisseur.

La poche de coulée, toute prête, est amenée sous le convertisseur par un chariot automobile, une grue centrale ou un pont roulant; quel que soit l'appareil de manœuvre, la poche est susceptible de se mouvoir en tous sens, et d'être retournée sur ses tourillons. On l'amène sous le bec de la cornue presque en contact avec lui, et on l'oriente de façon que le métal ne puisse frapper ni la paroi ni la quenouille.

On incline lentement la cornue, progressivement, pour que le jet conserve la même épaisseur, tandis que la poche est simultanément avancée et abaissée, décrivant sensiblement une circonférence concentrique à celle du bec du convertisseur. Quand la majeure partie de l'acier est versée, on retire les deux tampons qui retenaient la crasse; la scorie encore liquide s'écoule avec le reste de l'acier, reste à sa surface en le protégeant contre le refroidissement; si d'ailleurs cette couche de scorie semble trop mince, on l'augmente aussitôt avec quelques pelletées de poussière de chaux. Il importe, pendant la coulée, de ne pas laisser la quenouille heurter la cornue, et de suivre le bec de très près pour réduire la hauteur de chute et les éclaboussures.

Additions solides faites dans la poche. — Certaines additions sont faites pendant la coulée en poche afin d'éviter complètement leur contact avec un bain trop oxydé. Le carbone, coke ou anthracite, quelquefois employé pour durcir les métaux assez manganésés, est toujours jeté dans la poche avant, ou mieux pendant la vidange de la cornue : il serait impossible en effet de lui faire traverser la couche de scorie dans le convertisseur. Les ferrosiliciums riches à 25 ou 50 0/0, en menus fragments ou pulvérulents, ainsi que l'aluminium sont également jetés dans la poche pendant la coulée. Il vaut mieux les charger lorsque le fond de la poche est déjà recouvert d'une couche liquide, que de les y jeter avant de verser l'acier, car quelquefois ces additions, ramollies sans être fondues, sont poussées par les remous vers la quenouille, et s'attachent à la busette dont elles empêchent ensuite l'ouverture. Le poids des fragments est inférieur à 50 grammes, de sorte qu'ils entrent immédiatement en fusion.

Procédé basique. — Additions liquides. — La fabrication des aciers durs ayant 0,30 à 0,45 0/0 de carbone nécessite le mélange de fonte spiegel liquide avec l'acier converti. Une pareille teneur en carbone suffirait déjà pour réagir notablement sur la scorie phos-

phatée; le mélange doit donc être exécuté hors de la présence de tout phosphate, c'est-à-dire dans la poche de coulée. Le métal de la cornue s'écoule filtré à travers un épais barrage de chaux, qui retient la scorie jusqu'à vidange complète. On n'apporte jamais trop de soins à la confection de ce barrage : couche de poussière épaississant la scorie, puis fragments de chaux très calcinée qui se scorifient et forment un filtre élastique suivant les fluctuations du métal. Les incuits seront soigneusement évités pour le barrage. car leur décarbonatation produit des barbotages qui désagrègent le filtre et livrent passage à des filets de scorie.

Le chenal amenant le spiegel liquide débouche au-dessus de la poche à acier, vis-à-vis du bec du convertisseur, afin que les deux jets se rencontrent dans leur chute; son autre extrémité aboutit soit directement aux cubilots de refonte, soit le plus souvent à un bassin où se vide la poche à spiegel préalablement pesée.

Le versement du métal dans la poche à acier se fait très lentement pour que la scorie ne soit pas entraînée; quand la couche d'acier atteint 10 à 15 centimètres au fond de la poche, on commence à verser le spiegel avec autant de précautions. La réaction est vive, surtout si le bain n'a pas été partiellement désoxydé dans la cornue avec 2 à 3 kilogrammes de ferromanganèse par tonne; un sifflement violent et une flamme bleutée très éclairante se produisent, accompagnés de projections qui quelquefois débordent. On règle la vitesse d'écoulement du spiegel, de manière que celui-ci soit versé tout entier quand la cornue contient encore la moitié de sa charge. En 80 ou 100 secondes, toute cette charge est vidée; on retire les tampons de barrage, et une nappe mince de scorie s'écoule dans la poche, où elle se mélange à la scorie manganésée due à la réduction du métal.

Quand la réaction du spiegel sur l'acier paraît trop violente, on la calme avec quelques fragments de ferrosilicium jetés dans la poche. Il serait dangereux de couler le spiegel le premier, surtout s'il est relativement froid, car il se solidifierait sur le fond, emprisonnant ainsi la quenouille et la busette. Avec l'acier dur on évitera autant que possible des additions solides dans la poche, à cause du refroidissement qu'elles entraînent; si cependant l'on est certain que l'addition de spiegel est insuffisante, soit que la pesée l'ait indiqué, soit qu'on en ait renversé hors de la poche à acier, on peut la compléter par une addition de ferromanganèse et de ferrosilicium en menus fragments, jetés dans le métal avant que tout le spiegel n'ait été coulé.

Si la scorie phosphatée vient à s'écouler trop tôt dans la poche, elle y rencontre un acier plus manganésé et plus carburé que le métal final. La réaction, rapide et bruyante, provoque des bouillonnements, des projections, et coupe fréquemment la quenouille ; la teneur du métal en phosphore s'accroît, celles en manganèse et carbone diminuent ; la dureté finale est amoindrie, bien que l'acier soit très phosphoreux. La rephosphoration sera d'autant plus intense que le métal sera plus manganésé et le contact plus prolongé ; l'acier peut en devenir inutilisable. Une opération faite dans les conditions normales devant donner par exemple :

R = 70 kilogr. par millimètre carré
Mn = 0,95 0/0
C = 0,36 0/0
P = 0,008 0/0

ne possédera plus, après rephosphoration accidentelle, que :

R = 61 kilogrammes
Mn = 0,78 0/0
C = 0,30 0/0
P = 0,155 0/0

et ne pourra être employée à la fabrication de rails de chemins de fer.

Procédé acide. — Additions solides et liquides. — Dans la conversion acide, aucune réaction ne peut se produire entre les additions et la scorie, puisque cette dernière est un silicate à bases multiples ; toutes les additions sont donc faites dans la cornue, sauf l'aluminium et le ferrosilicium, jetés en menus fragments dans la poche pendant la coulée.

Le ferromanganèse est chargé chaud à la pelle, dès que la conversion est terminée, puisqu'il n'y a pas de décrassage avant la coulée en poche. Le spiegel, amené dans une petite poche à proximité du bec, est versé dans la cornue au moyen d'un couloir, mobile autour d'un axe vertical latéral, et qu'on oriente devant le bec au moment d'y couler l'addition.

La scorie siliceuse, peu fluide, retiendrait fréquemment des fragments de ferromanganèse solide ou des gouttelettes de spiegel, si l'on n'agitait fortement le bain ; un simple balancement ne suffit pas : on a recours à une courte injection de vent, le convertisseur étant

relevé verticalement, puis immédiatement rabaissé. L'oxydation qui en résulte atteint plutôt le fer que les réducteurs.

La coulée en poche pour acier doux ou dur est faite sans autre précaution que d'empêcher le passage d'un excès de scorie, au moyen de deux palettes appuyées contre le bec. Le métal est toujours plus homogène que dans le procédé basique, du moins au moment de la coulée en poche, par suite du mélange intime que produit l'injection d'air.

VIDANGE ET NETTOYAGE DU CONVERTISSEUR

Il est impossible de vider complètement dans la poche l'acier que renferme la cornue : trop de scorie l'accompagnerait ; le convertisseur doit donc être vidé par renversement complet, après chaque opération. Les scories basiques sont reçues dans une cuve de décrassage que sa locomotive déplace pendant le renversement de la cornue, de manière qu'elle soit constamment sous le bec. Si quelques loups solidifiés s'accrochent dans la panse, on les casse à coups de pinces, et on les sort ensuite facilement.

Il est imprudent de commencer une opération basique sans avoir complètement nettoyé la cornue, car la scorie ou l'acier liquides s'écouleraient sur le fond, quand le convertisseur serait relevé pour le chargement de la chaux, et obstrueraient les tuyères. Lors du débitage des pains de scorie, l'acier qui s'y trouve interposé par plaquettes est mis de côté, et refondu au four Martin, ou mieux au haut-fourneau ; 40 à 60 kilogrammes de métal sont entraînés ainsi dans la scorie à chaque opération.

Dans le procédé acide, comme on ne redresse pas le convertisseur avant d'y verser la fonte, on n'a pas à craindre une obstruction des tuyères. La scorie ne peut néanmoins rester indéfiniment dans la cornue : on la vide dans une cuve, ou bien à terre sur les plaques de dallage, et on la conduit ensuite au crassier.

CHAPITRE VII

ÉTABLISSEMENT DES CONVERTISSEURS

Armature du convertisseur. — L'armature métallique des convertisseurs doit être particulièrement solide, pour que la paroi réfractaire soit aussi bien maintenue que possible pendant les mouvements répétés auxquels ils sont soumis. La cuirasse, close de toutes parts, sauf au bec naturellement, supporte tous les efforts mécaniques : poids de la charge, réactions des mouvements. Le garnissage réfractaire, complètement protégé par la cuirasse, résiste uniquement aux actions chimiques et thermiques du bain ; comme son usure est relativement rapide, il faut qu'on puisse le réparer partiellement ou totalement sans démonter l'armature ; seul, le fond de celle-ci est amovible, tout à fait indépendant du reste, ce qui permet de remplacer le fond et les tuyères en cours de marche.

La cuirasse comprend généralement trois parties :

1° Une partie inférieure, cylindrique ou légèrement conique, en tôles de 20 à 24 millimètres réunies par des couvre-joints intérieurs et extérieurs à double rivure. Le bord supérieur porte une forte cornière qui sert d'attache avec la partie médiane. Le bord inférieur est rabattu, de manière à former une couronne, qu'on renforce par un anneau assez épais qui servira d'attache pour la boîte à vent ; quelquefois, pour éviter ce travail de chaudronnerie délicat, la couronne est réunie à la paroi cylindrique par une cornière en acier coulé.

2° Une partie cylindrique médiane, en tôle, très épaisse, qui supporte tout l'effort de la manœuvre. Les couvre-joints réunissant les feuilles de tôle qui la composent sont disposés entre les attaches des agrafes de la ceinture. Les deux bords, supérieur et inférieur, portent chacun une cornière à double rivure, renforcée par une fourrure intérieure.

3° La panse et le bec, enfin, constituent les pièces de chaudronnerie les plus délicates. Le tracé de leurs formes est très important pour la facilité du travail et la durée du garnissage. On trouve rarement, maintenant, des convertisseurs à bec concentrique; le bec excentré, le plus répandu, est indispensable dans le procédé Thomas, vu les projections de scorie qui accompagnent la fin de la conversion. Malgré cette excentricité, on doit pouvoir examiner par le bec toute la paroi de la cornue, et réparer le fond, du haut de la passerelle supérieure; le maximum d'excentricité correspond donc au parallélisme de la génératrice de surface conique médiane arrière du bec, avec l'axe de la partie inférieure du convertisseur; l'excentricité est alors définie par la génératrice médiane avant, qui devient la ligne de plus faible pente du bec, lorsque la cornue est verticale. Une forte excentricité, c'est-à-dire un bombement accentué de la panse, contribue à maintenir dans la cornue les projections qui s'échappent du bain; elle augmente la capacité de l'appareil, mais, créant un obstacle au départ des fumées, elle accroît la pression de soufflage; de plus, elle laisse en surplomb une large surface sphérique dont la construction est difficile. L'inclinaison sur la verticale de la génératrice avant varie de 35 à 45°, soit pour le cône du bec un angle au sommet de 55 à 45°.

Le cône est relié à la partie cylindrique par une portion de sphère limitée entre un plan diamétral et le plan de base du cône qui passe par le pied de la génératrice médiane arrière, et est ainsi incliné sur le plan diamétral d'un angle égal à la demi-ouverture du cône. La partie conique de la cuirasse est constituée par des tôles cintrées, reliées à la région sphérique par un large couvre-joint qui donne à cette zône une rigidité suffisante. La tôle qui forme le bec du côté de la panse, ou tôle bavette, est amovible : les corrosions qu'elle subit en exigent le remplacement fréquent.

La réunion des trois parties constituantes de la cornue se fait au moyen des cornières qui les bordent; celles-ci sont percées de trous de 30 millimètres au moins, et assemblées par boulons. Le diamètre de ces boulons a plus d'importance que leur nombre, car si l'un d'eux vient à se rompre sous un effort local, les boulons voisins, s'ils sont de trop faible diamètre, se rompent également : le décollement se continue rapidement, et amène la chute de la cuirasse. Pour plus de sécurité, on munit souvent les éléments de la cuirasse de fortes oreilles, au nombre de 4 ou 6, dont la queue est prolongée au delà de la cornière, et qui sont reliées entre elles par des boulons de 50 ou

60 millimètres ; elles doublent ainsi le système d'attaches, et le remplacent s'il vient à céder. Les boulons qui réunissent les cornières sont à écrous ou à clavettes ; les premiers peuvent rarement être dévissés, car les filets s'arrachent ; les seconds ont l'avantage de montrer, par la déformation des clavettes, s'ils sont soumis à un travail excessif. Chaque jour on visite les boulons en les frappant avec un marteau, pour s'assurer qu'ils ne sont pas rompus.

Ceinture. — Tourillons. — La cuirasse est soumise à des dilatations dont les effets varient avec l'état du convertisseur et l'épaisseur de son garnissage ; aussi ne peut-on y attacher directementles tourillons de suspension : la liaison est réalisée par l'intermédiaire d'une ceinture annulaire, d'un diamètre supérieur à celui de la cuirasse dont elle est isolée, et qui par suite reste sensiblement à la température extérieure ; cette pièce est en fonte ou en acier coulé, armée de fortes nervures. Un assemblage de profilés serait peu à recommander, car il serait enclin à se déformer davantage sous l'influence de la dilatation. La rigidité de la ceinture est aussi nécessaire que sa résistance statique ; elle est d'une seule pièce, avec tourillons rapportés, ou en quatre pièces, dont deux portent les tourillons.

On obtient une réunion élastique de la ceinture et de la partie cylindrique du convertisseur au moyen d'une série d'étriers, rivés à la cuirasse, dont les branches glissent sur les tranches de la ceinture entre des tenons qui les guident. Ils sont fixés radialement, de sorte que la dilatation se répartit uniformément sur chacun d'eux, sans changer la position du centre de gravité de la cornue. Auprès des tourillons, la ceinture porte en outre une surépaisseur, servant de butée à des équerres rivées sur la cuirasse qui limitent le mouvement de rotation que pourrait prendre la cornue à l'intérieur de sa couronne. Vu la difficulté que présente l'exécution de ces assemblages multiples, il est nécessaire d'avoir, comme rechange, une ceinture complète, avec tourillons et partie cylindrique de cornue ; le montage sur place serait lent et peu précis.

Outre leur rôle d'axe de suspension, les deux tourillons en ont encore chacun un autre, mais différent : l'un sert à l'introduction du vent dans la boîte à vent, quelle que soit la position de la cornue, l'autre porte à son extrémité l'organe de manœuvre.

Tous deux, en acier coulé, sont largement calculés non seulement pour la charge statique, mais pour les efforts dynamiques provenant des mouvements et des chocs éventuels. Si la ceinture est d'une seule

pièce, ils y sont encastrés à chaud, à la presse hydraulique, et consolidés par une couronne de boulons ; la ceinture est elle-même frettée à l'encastrement, pour parer au manque d'élasticité de la fonte. Dans la ceinture en plusieurs pièces, les tourillons font corps avec deux d'entre elles, boulonnées suivant des joints diamétraux ; la rigidité est moindre que dans le cas précédent.

Le tourillon à air est creux ; il fait suite au tuyau fixe d'adduction de vent, qui arrive vis-à-vis de lui au delà du coussinet ; la rotation s'effectue à l'intérieur d'un joint d'amiante. L'usure des coussinets, bien que lente, déplace peu à peu le centre du tourillon ; le tuyau de vent fixe le suit dans ce mouvement, grâce à une liaison élastique qui le presse contre le palier, en lui laissant du jeu en tous sens. A son extrémité, ce tuyau fixe porte une soupape de sûreté automatique, qui isole le convertisseur de la conduite de vent dès qu'on cesse le soufflage ; on évite ainsi tout retour de gaz combustibles dans la tuyauterie.

Boîte à vent. — L'usure du fond de la cornue, plus rapide que celle des parois, oblige à employer un dispositif qui permette le remplacement du fond sans que l'on ait à pénétrer dans le convertisseur, et sans qu'il en résulte un long arrêt. Les fonds furent d'abord maçonnés dans une coupole creuse portant à sa partie inférieure la boîte à vent, et faisant corps avec la cuirasse du fond ; le joint entre la cornue et le fond était horizontal, et l'attache de ces deux parties se faisait par des agrafes extérieures. La solidarité de la boîte à vent et du fond exigeait un nombre considérable de pièces de rechange, par suite de l'usure rapide du fond réfractaire.

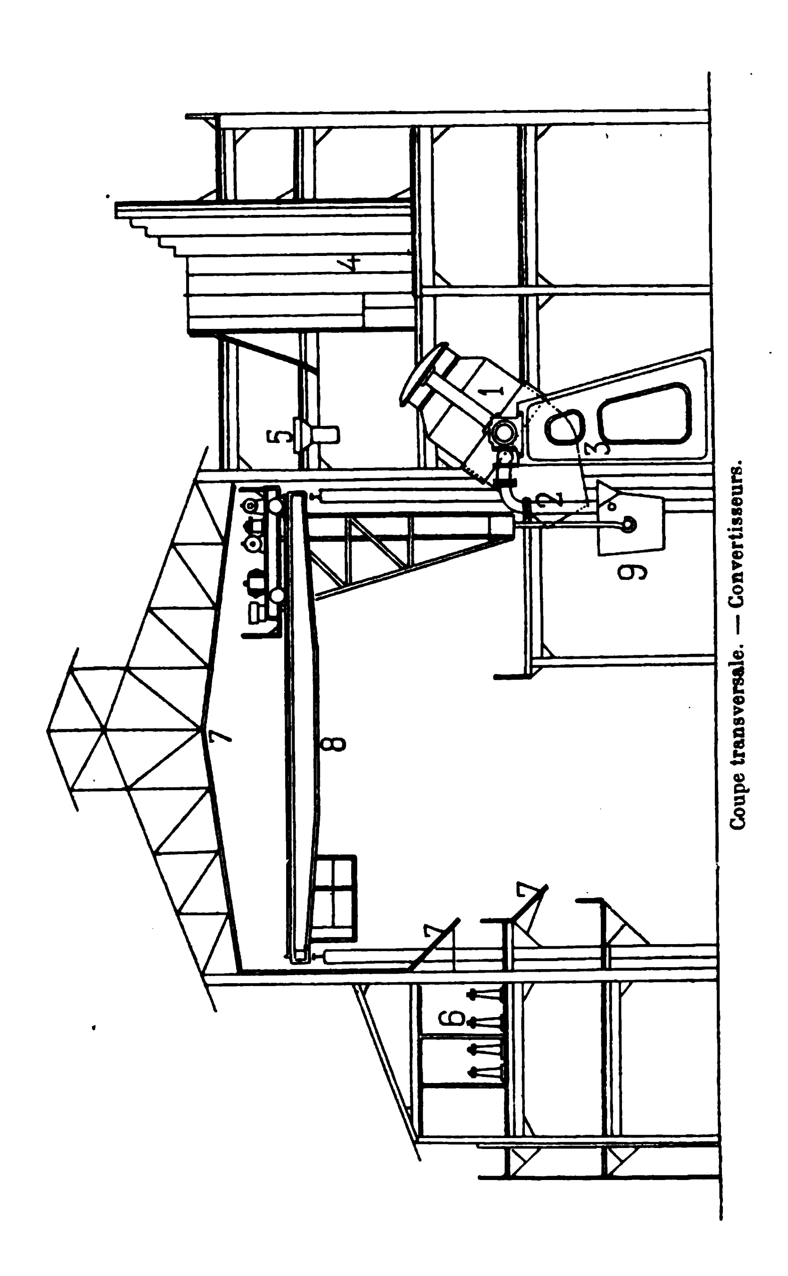
Actuellement, la boîte à vent reste fixée à la partie inférieure du convertisseur, ainsi que le tuyau de vent. Le fond est construit sur une plaque en fonte qui le soutient, à l'intérieur d'un manteau amovible qu'on retire dès que la cuisson est terminée. Au moment voulu, on l'introduit dans le convertisseur par l'intérieur de la boîte à vent, dont le diamètre lui est légèrement supérieur ; la plaque de fonte qui le supporte bute en haut contre une couronne rivée à la partie inférieure de la cornue, et, en dessous, elle repose sur les corbeaux placés après la pose du fond, prenant appui sur les parois de la boîte à vent ; des coins l'assujettissent dans cette position.

La boîte à vent supporte donc tout le poids du fond et de la charge ; elle est reliée à la cuirasse au moyen d'une ceinture de boulons à clavettes, dont la tête s'appuie sur la couronne de la partie inférieure.

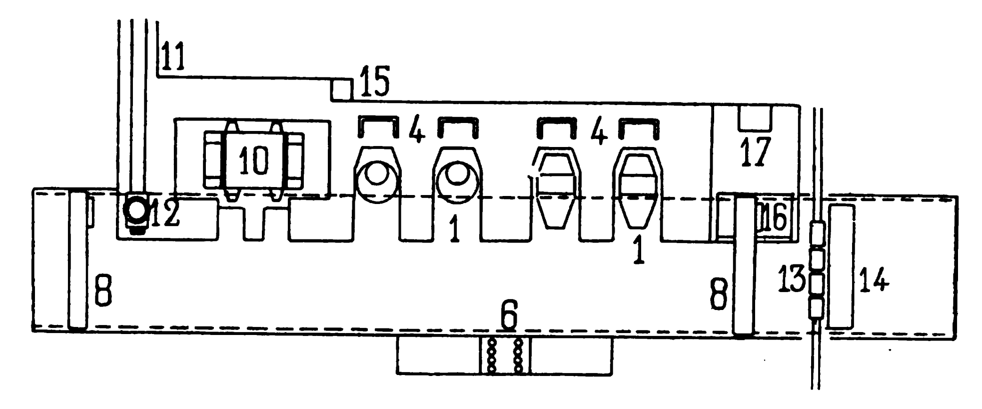
On la fait en chaudronnerie, ou parfois en acier coulé; elle porte latéralement la buse d'injection d'air, reliée au tourillon creux par un tuyau plat en tôle. Sur sa paroi verticale, des mortaises sont pratiquées dans une surépaisseur, où l'on engage la queue des corbeaux maintenant la plaque du fond. Elle est fermée inférieurement par une tôle légèrement bombée, avec boulons à clavette; une garniture en amiante, ou en corde enduite de terre argileuse claire, assure l'étanchéité du joint. Au lieu de cette garniture, la boîte à vent porte quelquefois une rainure circulaire tournée, dans laquelle vient se loger un rebord de la tôle de fond; la fermeture est meilleure et les manœuvres sont plus rapides. Une ouverture est ménagée au centre de la tôle de fond pour faire l'inspection des tuyères; elle est fermée par une plaquette oscillante pressée par un boulon à écrou. Quand le convertisseur n'est pas en marche, on ouvre cet orifice, pour donner issue aux gaz combustibles ou explosifs que dégage la combustion lente du coke, ou la cuisson du garnissage goudronné.

Appareils de manœuvre. — La cornue doit pouvoir exécuter une rotation de plus de 300°; comme les mouvements doivent être rapides, un moteur puissant est nécessaire. On choisit toujours l'eau sous pression, en raison de sa rapidité d'action et de l'accumulation d'énergie potentielle qu'elle permet de dépenser instantanément. Un cylindre hydraulique à double effet transmet sa puissance par une crémaillère et un pignon; les deux extrémités du cylindre sont en relation avec l'appareil distributeur, qui est d'ordinaire assez éloigné. Pour qu'une rupture de conduite ou de joint n'abandonne pas la cornue à l'action de la gravité, chaque tête du cylindre hydraulique porte une soupape de retenue automatique, qui isole à tout instant le cylindre, assurant l'immobilité du piston tant qu'il n'y a pas injection d'eau. Le cylindre, disposé parfois horizontalement, est établi le plus souvent verticalement dans les caves, où il est moins exposé aux avaries et à la gelée; sa tête supérieure est fixée au bâti-support du convertisseur; la rigidité et l'indéformabilité sont ainsi absolues.

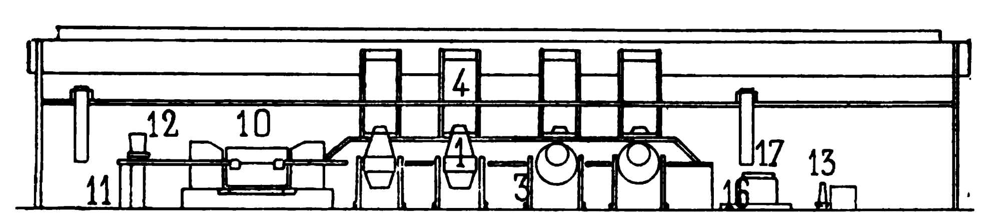
Les dimensions du cylindre varient avec la pression de l'eau adoptée, 30 à 50 kilogrammes par centimètre carré; quand il est vertical, on peut sans crainte allonger la course et diminuer le diamètre en conséquence. Les tourillons sont centrés de manière que, dans toutes les positions, le *cul* de la cornue ait un poids prépondérant, qu'elle soit vide ou chargée, même couchée horizontalement, les tuyères émergentes. La puissance du cylindre doit être supé-



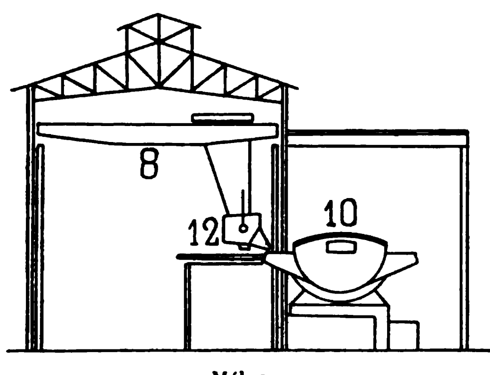
Coupe transversale. — Convertisseurs.

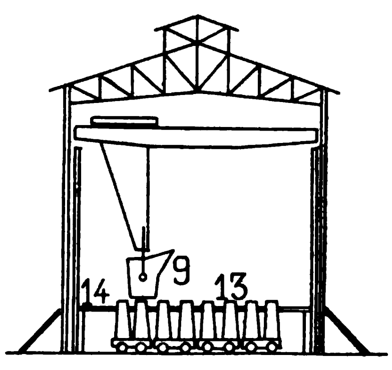


Plan.



Coupe longitudinale.





Mélangeur. Car-Casting.

Coupes transversales.

Aciérie Thomas de Neuves-Maisons (Meurthe-et-Moselle)
(Société anonyme de Châtillon, Commentry, Neuves-Maisons).

1. Convertisseur. — 2. Tuyau de vent. — 3. Supports du convertisseur. — 4. Cheminée de soufflage. — 5. Trémie à chaux. — 6. Appareils de commande : vents et mouvements. — 7. Masques. — 8. Pont roulant. — 9. Poche à acier. — 10. Mélangeur. — 11. Voie d'arrivée de la fonte. — 12. Poche à fonte. — 13. Trucks porteurs des lingotières. — 14. Pont de coulée. — 15. Monte-charge à chaux, spiegel, etc. — 16. Plate-forme de préparation des poches à acier. — 17. Four à sécher les quenouilles.

rieure au moment mécanique de la prépondérance du cul du convertisseur chargé, quand on le rabat horizontalement, quel que soit l'état d'usure du garnissage; le cas le plus défavorable est celui d'un appareil contenant une charge, fortement usé et possédant un fond neuf, à l'instant où il passe dans une position voisine de la position de chargement de la chaux.

La crémaillère de commande, en acier coulé, est clavetée à l'extrémité de la tige du piston, de manière que la ligne primitive d'engrènement soit dans l'axe de la tige; sa section doit présenter un moment d'inertie suffisant pour résister au flambage, car elle travaille alternativement à la traction et à la compression. Elle est guidée à hauteur du pignon par une glissière solidement fixée au palier du convertisseur; la rupture de ce guide abandonnerait immédiatement la cornue à elle-même.

Pour éviter que des corps étrangers ne tombent dans la denture, les organes de manœuvre sont enfermés dans des coffres clos, avec portes de graissage. Si le cylindre hydraulique est horizontal, on dispose la face dentée de la crémaillère à la partie inférieure.

Le pignon moteur est calé à la presse hydraulique sur le tourillon plein, et maintenu par deux clavettes; la denture peut être droite, ou, ce qui vaut mieux, à chevrons, la pointe des dents de la crémaillère étant dirigée vers le haut : la transmission est plus sûre, et le guidage latéral de la crémaillère mieux assuré.

Supports des paliers. — Les paliers des convertisseurs sont placés assez haut pour que le passage des cuves à crasse et de la poche à acier soit facile. La position de la cornue correspondant à la vidange complète, c'est-à-dire le bec en bas dépassant le bord supérieur de la cuve de décrassage, détermine la hauteur des tourillons.

Chacun des paliers est placé sur un support métallique en chaudronnerie, ou mieux en fonte, dont le pied repose sur une fondation, à environ 1 mètre au-dessus du niveau du sol; ces supports sont reliés entre eux par une charpente solide, formant le plancher des convertisseurs.

Dimensions des convertisseurs. — La capacité des convertisseurs doit être de beaucoup supérieure au volume de la charge, en raison des bouillonnements qui s'y produisent. Pour un même poids de fonte, la capacité d'une cornue basique est plus grande que celle d'une cornue acide, car le volume de la scorie peut atteindre

les 75/100 du volume du métal; les projections sont, en outre, plus considérables dans le procédé Thomas. Les convertisseurs destinés à traiter de faibles charges sont plus grands, relativement à la charge, que les appareils d'un tonnage supérieur.

POIDS DE LA CHARGE EN TONNES	VOLUME MINIMUM DE LA CORNUE EN MÈTRES CUBES	
	CONVERSION ACIDE	CONVERSION BASIQUE
2	3	»
4	5,5	»
6	7,5	11
8	9,4	12,8
10	10,6	15
12	12,5	17
15	15,3	19,5
18	»	22,5

A elle seule, la panse doit pouvoir contenir la charge, métal et scorie, entre le bec et les tuyères inférieures.

La hauteur du bain détermine le diamètre intérieur du cul; elle-même dépend de la rapidité de la conversion et de la répartition du vent. Des tuyères nombreuses et de faible section produisent un meilleur effet utile que des orifices trop larges; les fonds où les busettes d'injection sont pratiquées dans la masse réfractaire même sont préférables, à ce point de vue, à ceux où les tuyères sont constituées par des briques perforées, à trous multiples très rapprochés. Le travail mécanique d'injection et, par suite, la dépense d'énergie croissent avec l'épaisseur du bain; on réduira donc celle-ci à la valeur minima capable d'assurer une absorption complète de l'oxygène, pour la vitesse de conversion adoptée. Si, avec un matériel déjà en service, on s'aperçoit que l'air est mal utilisé, on y remédie en augmentant la durée de l'opération par réduction du nombre, ou mieux du diamètre, des tuyères.

Les aciéries américaines travaillent en marche acide avec un bain de $0^m,35$ à $0^m,45$; les aciéries basiques, avec $0^m,55$ à $0^m,75$, car le métal, peu échauffé au début du soufflage, est moins apte à l'absorption de l'oxygène.

La surface totale des tuyères dépend de la hauteur du bain et de la vitesse d'affinage. Avec une faible épaisseur de métal, il faut diminuer la surface d'injection, sinon les réactions oxydantes seraient

incomplètes ; $0^{m^2},15$ par tonne de métal suffisent pour un bain de $0^m,45$; avec les bains épais, on atteint $0^{m^2},25$ par tonne. On répartit cette surface, soit entre les tuyères amovibles, soit entre les busettes du fond ; le diamètre des premières est de 9 à 14 millimètres ; celui des secondes, 15 à 19 millimètres ; il peut être d'autant plus élevé que la hauteur du bain est plus grande, puisque la dispersion du vent s'effectue alors sur un plus long parcours. Pour l'affinage basique, avec des convertisseurs de 10 à 15 tonnes, on adopte 100 à 120 trous de 16 ou 17 millimètres, pour $0^m,70$ à $0^m,75$ de hauteur de bain.

Les dimensions générales des cornues s'établissent par comparaison avec des appareils en service, travaillant dans des conditions analogues. Il est préférable qu'elles pèchent par excès plutôt que par défaut, car on pourra toujours augmenter l'épaisseur du garnissage si on reconnaît que la capacité est trop grande, tandis qu'on ne peut la diminuer au delà d'une certaine limite.

Profil intérieur. — L'expérience, la pratique et l'observation des parties les plus sujettes à l'usure, permettent de déterminer le profil intérieur le plus favorable. La paroi du cul est verticale, ou légèrement évasée parallèlement à la cuirasse. Cette dernière forme est préférable, car le joint entre le fond et le garnissage est mieux à l'abri des remous du métal retombant le long des parois ; en ce cas, le diamètre du fond est inférieur à celui de la cuve, ce qui éloigne des parois la couronne extérieure des busettes, et réduit le frottement du métal contre le garnissage. Le bec est largement ouvert, pour qu'on puisse apercevoir et atteindre un point quelconque du fond ou du revêtement latéral ; il est légèrement évasé du côté de l'excentricité, pour diminuer la formation des loups de bec, les agglomérations de crasse et de métal solidifiées le long du dos. Les becs très excentrés favorisent la production des loups, par le changement de direction qu'ils impriment aux fumées ; aussi sont-ils d'un plus grand diamètre que les becs presque concentriques.

CHAPITRE VIII

GARNISSAGES BASIQUES

MATÉRIAUX BASIQUES

Matières basiques. — Le revêtement du convertisseur basique doit rester réfractaire à la température de fusion de l'acier, ne pas subir de corrosion chimique au contact de la silice, de l'anhydride phosphorique et de la chaux, et présenter une résistance suffisante à l'usure mécanique. Les oxydes des métaux alcalino-terreux peuvent seuls remplir ces conditions; l'abondance des gîtes de chaux et de magnésie désignent particulièrement ces deux corps pour cet emploi.

La chaux est peu coûteuse, mais ses silicates sont très fusibles; sa conservation à l'air est difficile, même après cuisson à très haute température. On l'emploie dans quelques usines américaines, après frittage à mort, en mélange avec de la dolomie.

La magnésie donne des silicates peu fusibles, se conserve bien, mais ses gisements sont trop peu nombreux, pour qu'on puisse l'utiliser à la confection des convertisseurs; on la réserve pour les soles des fours basiques, ou pour la fabrication des tuyères de cornues.

Si la magnésie pure est rare, les calcaires magnésiens le sont beaucoup moins; on recherche naturellement les plus riches en magnésie, ceux qui se rapprochent de la dolomie, carbonate double calcomagnésien.

Dolomie. — La dolomie chimiquement pure, $CaO.CO^2$, $MgO.CO^2$, présente comme composition élémentaire :

		Pour 100
CaO	=	30,45
MgO	=	21,75
CO^2	=	47,80

Elle est associée, dans ses gisements, avec la silice, l'alumine, l'oxyde de fer et un excès de chaux. La silice et l'alumine diminuent ses qualités réfractaires, quand leur teneur totale dépasse 2 0/0; l'oxyde de fer se comporte comme un acide, et est nuisible au même degré; les dolomies silico-alumineuses se frittent très facilement, et présentent une cassure porcelanique, à laquelle l'oxyde de fer donne souvent une coloration noire. La chaux en excès est sans doute combinée avec les acides précédents; elle déprécie beaucoup la valeur de la dolomie. La composition des dolomies naturelles varie avec les gisements, et même avec les bancs d'un même gisement; les carrières les plus connues sont situées en Lorraine, en Belgique et dans le duché de Luxembourg. On peut employer en métallurgie tous les calcaires magnésiens renfermant moins de 4 0/0 d'alumine, oxyde de fer et silice, et plus de 19,5 0/0 de magnésie; les proportions des divers constituants varient comme suit :

				Pour 100
SiO^2	de	0,25	à	1,50
CaO	»	28,50	»	30,00
MgO	»	19,50	»	21,50
Al^2O^3	»	0,20	»	1,50
Fe^2O^3	»	0,20	»	1,50
CO^2	»	44	»	47

Frittage de la dolomie. — La dolomie chauffée au rouge perd son anhydride carbonique, comme la chaux, mais avec plus de difficulté; elle éprouve en outre un retrait qui augmente avec la température à laquelle on l'a soumise, et qui rend les fragments de pierre plus denses après cuisson, malgré la décarbonatation. On doit donc chercher à réaliser, dans la cuisson de la pierre, la température que devra supporter le garnissage qu'elle constituera; c'est pourquoi on pousse cette cuisson jusqu'à frittage, commencement d'agglomération par ramollissement. Ainsi frittée, la dolomie ne fuse dans l'eau qu'après un séjour prolongé; elle ne se réduit pas en poussière à l'air et peut être conservée dans une atmosphère sèche pendant plusieurs jours.

APPROVISIONNEMENT EN DOLOMIE FRITTÉE

Lorsque la durée du transport n'excède pas 4 ou 5 jours, la dolomie peut être expédiée après cuisson aux usines qui la consomment ; on économise ainsi des frais de transport sur la pierre, qui rend seulement moitié de son poids après frittage. Cependant, il est bon que les aciéries disposent au moins d'un cubilot à dolomie, pour faire face à une augmentation de consommation, ou à un retard dans les expéditions de pierre cuite.

Celle-ci s'expédie dans des wagons couverts, ou au moins fortement bâchés ; on les vérifie à l'arrivée, et on rejette toute partie humide, qui contaminerait les fragments voisins. Le déchargement s'effectue sous un hangar bien abrité, de préférence par un temps sec ; la pluie, l'humidité même dans un endroit couvert, pénètrent rapidement la dolomie, qui fuserait au bout de quelques jours. L'emmagasinage en tas ne prête pas à une reprise méthodique, ni à la bonne conservation de la pierre ; il est préférable de créer les stocks dans des silos verticaux, chargés par le haut et vidés par la base ; des cubilots à dolomie hors de service conviennent parfaitement pour cet usage.

Quelles que soient les dispositions minutieuses que l'on ait prises, la dolomie frittée au dehors est, au moment de l'emploi, de moindre qualité que celle que l'aciérie fabrique sur place et qu'elle peut employer encore chaude ; on préfère généralement cette dernière solution, malgré un prix de revient plus élevé.

CUBILOTS A DOLOMIE

Établissement. — La cuisson de la dolomie, comme celle de la chaux, s'opère dans des fours à cuve verticaux, analogues à des cubilots. Le diamètre, à l'intérieur du garnissage réfractaire, est de $1^m,20$ à $1^m,60$; au delà de cette dimension, la cuisson est moins régulière, et le cubilot tend à s'accrocher sur les parois. La hauteur de la cuve, depuis les tuyères jusqu'aux portes de chargement, est de 6 à 8 mètres ;

les tuyères sont à $1^m,80$ au-dessus de la sole. La cuve est construite à l'intérieur d'une cuirasse en tôle de 8 à 10 millimètres, s'étendant sur toute la hauteur, et surmontée d'une cheminée qui active le tirage.

Le chargement est effectué au sommet de la cuve par deux larges portes à volets, fermées en cours de marche, car la cuisson produit de la vapeur d'eau, de l'anhydride carbonique et de l'oxyde de carbone, qui rendent malsain et dangereux le voisinage des cubilots. Le défournement de la pierre cuite se fait par six ou huit portes placées au niveau de la sole et vers lesquelles les fragments sont guidés par un cône central. Ces portes, étroites mais hautes, servent au passage des pinces et des ringards avec lesquels on attaque un accrochage. Une couronne de tuyères permet de souffler pour activer la combustion; on les utilise aussi pour surveiller la descente et sonder la colonne de charges, s'il y a lieu de le faire; lorsqu'on emploie le vent forcé, la pression ne dépasse pas 10 centimètres d'eau.

Le garnissage est fait en briques réfractaires ordinaires, depuis la sole jusqu'aux tuyères, et depuis le niveau du plancher de chargement jusqu'à la cheminée ; la région intermédiaire est briquetée en dolomie, de la même façon qu'un convertisseur ; ce garnissage, de 25 centimètres d'épaisseur, est soutenu à chaque virole de la cuirasse par une cornière, qui empêche les briques de dolomie de s'écraser pendant la construction. Le revêtement basique s'étend sur toute la zône où la température dépasse le rouge ; ailleurs, les briques alumineuses sont préférables, parce qu'elles résistent mieux à l'usure mécanique.

Conduite. — La cuisson est accélérée et améliorée par un cassage préalable de la pierre crue en fragments réguliers de 4 à 5 centimètres, et par un criblage qui rejette les fragments de dimensions inférieures à 25 millimètres. La charge comprend une couche de coke, d'épaisseur telle que son poids soit de 120 kilogrammes par mètre carré, et la quantité de pierre correspondante, 350 à 450 kilogrammes. On choisit du coke très pur, car les cendres facilitent les accrochages, surtout si elles sont assez fusibles ; des cendres alumineuses sont moins à craindre que des cendres siliceuses, même en proportion plus élevée, car elles s'agglomèrent difficilement avec les bases calcomagnésiennes. Pour que la cuisson soit régulière, il faut employer toujours la même qualité de coke, ou n'opérer de changement de combustible qu'en tenant compte de la richesse en cendres

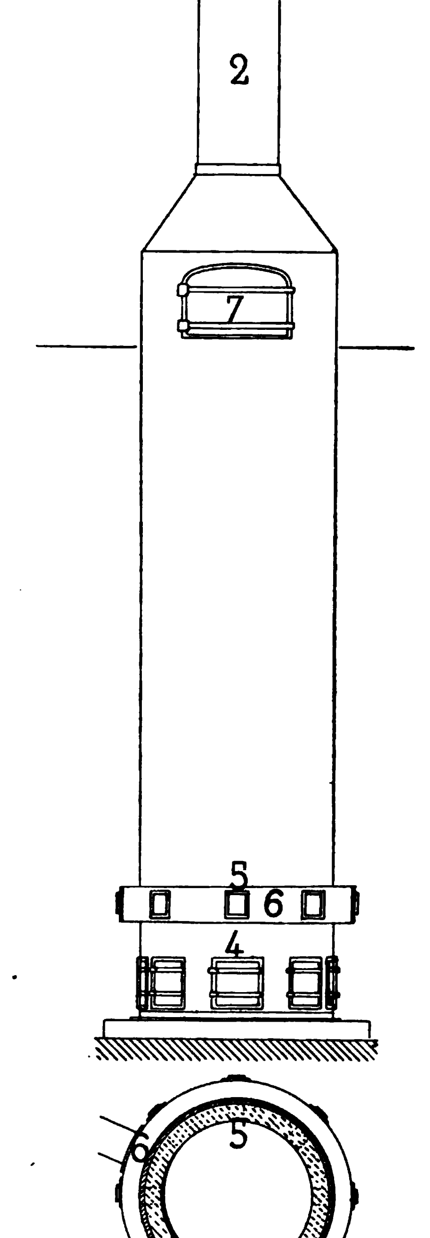
de chacun d'eux. Comme le coke tend toujours à gagner la périphérie par la déformation des charges pendant la descente, on le charge au centre en plus forte épaisseur ; il est cassé en fragments de 6 à 8 centimètres.

La bonne conduite du cubilot consiste à assurer une descente régulière, suffisamment lente pour fritter la pierre. La dolomie cuite est tirée à intervalles réguliers, quatre ou six fois par poste, à chacune des portes inférieures, jusqu'à ce que les fragments encore rouges apparaissent aux tuyères. Le feu doit atteindre son maximum d'intensité à 1 mètre au-dessus des tuyères, avec tirage naturel, et à $0^{m},75$ avec tirage forcé. Un feu trop bas produit une combustion incomplète ; trop haut, il provoque des accrochages. Le frittage exige non seulement une température très élevée, mais un séjour prolongé sous cette température, pour que la cuisson atteigne le cœur des fragments. La conduite ininterrompue à vent forcé accélère généralement la descente plus qu'il ne convient, et augmente la consommation de coke. La meilleure marche consiste à souffler le cubilot après défournement, pour allumer rapidement le combustible dans toute la section, puis à ralentir l'allure en laissant le tirage naturel, jusqu'au défournement suivant.

Les accrochages proviennent d'ordinaire d'une allure trop chaude ; des cheminées de tirage se forment au voisinage des parois où la densité de charge est moindre, et où se rassemble le coke. La température, s'élevant en ces points, fond les cendres du coke, colle les fragments de dolomie sur les parois, et forme un loup qui obstrue la section ; la descente est suspendue du côté correspondant, de sorte qu'aux portes de défournement arrivent des fragments trop frittés accompagnés de pierre non cuite.

On reconnaît l'existence d'un accrochage au-dessus d'une tuyère en observant l'intérieur du cubilot après défournement ; au-dessous d'un loup, la pierre ne descend pas, ou, si elle descend, elle est encore noire. On attaque l'accrochage avec des pinces engagées presque verticalement, de bas en haut, par les portes de défournement et par la tuyère opposée, ce qui permet de saisir le loup par l'intérieur ; on l'arrache par morceaux, qu'on retire par les portes avec la pierre.

L'accrochage peut aussi prendre naissance dans la cuve, bien au-dessus des tuyères, lorsque la pierre n'a pas été défournée régulièrement, et que le feu est monté trop haut. Il est alors d'autant plus dangereux qu'il est plus éloigné des tuyères, car on ne peut



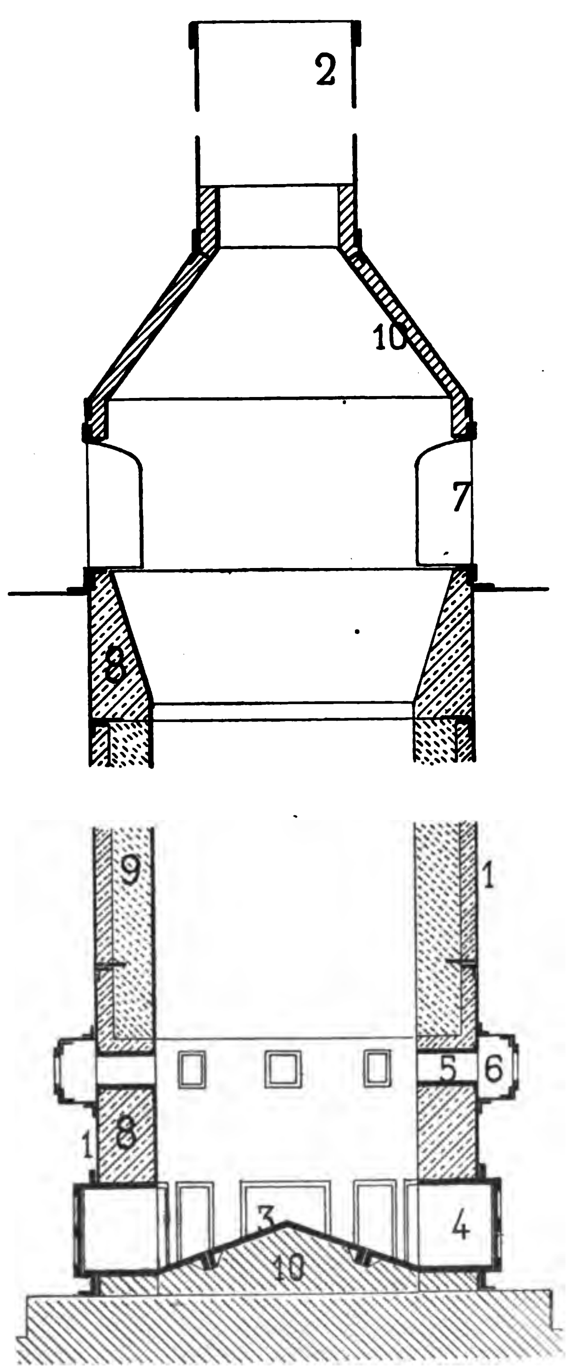
Cubilot à dolomie.

1. Cuirasse en tôle. — 2. Cheminée. — 3. Sole en fonte. — 4. Portes de défournement. — 5. Tuyères. — 6. Boîte à vent. — 7. Portes de chargement. — 8. Garnissage en briques réfractaires. — 9. Garnissage en briques de dolomie. — 10. Garnissage en briques ordinaires.

Diamètre intérieur, 1m,400.

Hauteur totale, de la sole à la porte de chargement, 7m,000.

Élévation et coupe horizontale.



Coupe verticale.

l'attaquer par la base; il risque d'envahir rapidement toute la section du cubilot, et de nécessiter la mise hors feu. On le détache avec des pinces enfoncées verticalement de haut en bas par les portes de chargement; ensuite on tire la pierre jusqu'à ce qu'elle arrive rouge aux tuyères, très fréquemment, mais chaque fois en faible quantité, de façon à faire insensiblement descendre le feu jusqu'à la zône normale.

Qualités de la dolomie frittée. — La qualité de la pierre cuite indique si la marche du cubilot est convenable. La dolomie bien frittée est légèrement agglomérée, mais sans fusion ; les fragments les plus épais sont fissurés par le retrait ; la densité est supérieure à celle de la pierre crue; l'aspect extérieur reste rugueux. La cassure ne montre aucune partie blanche friable ; elle est porcelanique avec les dolomies alumineuses, et grise ou noire quand l'oxyde de fer est en proportion notable. La perte au feu, sur dolomie pulvérisée, est inférieure à 1 0/0 après calcination de deux heures au moufle de laboratoire; après quelques jours d'exposition à l'air, la pierre cuite s'hydrate et donne une perte au feu qui atteint 4 0/0. La composition après frittage est :

SiO^2	=	0,6 à 2,80 0/0
$(Al^2O^3 + Fe^2O^3)$	=	0,5 à 2,50 0/0
CaO	=	52 à 58 0/0
MgO	=	35 à 38 0/0
Perte au feu	=	0,6 à 1,10 0/0

On reconnaît que la pierre est insuffisamment cuite à l'aspect et à la densité des morceaux ; si le manque de cuisson n'est pas le résultat d'un accrochage, on augmente la charge de coke, et on réduit la vitesse de descente. La pierre très cuite est noire, recroquevillée, très dure ; par elle-même elle n'offre pas d'inconvénients, mais elle peut favoriser les accrochages, qu'on évitera en accélérant le défournement.

Le rendement de la dolomie crue en pierre utilisable ne dépasse pas 50 à 52 0/0 ; on écarte, par triage, les fragments vitrifiés ou pulvérulents. Un cubilot de 1m,50 de diamètre intérieur produit, à tirage naturel, 5 à 6 tonnes en vingt-quatre heures, et 8 à 9 tonnes s'il est soufflé. Une aciérie Thomas doit posséder au moins deux cubilots à dolomie, dont l'un en marche, l'autre hors feu.

Entretien des cubilots. — Le revêtement basique du cubilot étant construit comme celui d'un convertisseur doit être cuit avant la mise en service. Le goudron ne constitue un bon agglomérant qu'après dissociation de ses carbures, et dépôt de graphite qui cimente les grains de dolomie. Cette dissociation nécessite une combustion partielle du goudron, car, par l'effet seul de la chaleur sans combustion, les carbures se volatilisent et coulent, en laissant le garnissage sans consistance. La cuisson consiste donc en une combustion des parois du cubilot; elle est effectuée au moyen d'un feu de bois flambant entretenu sur la sole. Le tirage s'établit par les tuyères, et la flamme gagne peu à peu toute la hauteur du revêtement en dolomie, dont la couche superficielle entre en combustion, se durcit, et maintient les couches sous-jacentes. Lorsque la flamme s'éteint, la cuve est remplie de coke jusqu'à mi-hauteur, puis de couches alternées de dolomie et de coke jusqu'au sommet; la proportion de dolomie croît, jusqu'à atteindre la charge normale au gueulard. La combustion s'établit, achevant la décomposition du goudron, et portant les parois au rouge. La descente commence, mais les premières charges de pierre, insuffisamment cuites, sont de nouveau repassées au cubilot; quarante-huit heures après l'allumage du coke, l'appareil a acquis son régime normal.

On procède à la mise hors feu, quand les parois sont usées, ou qu'une partie du garnissage s'est effondrée à la suite d'un accrochage. On termine le chargement par une double ration de coke, et on abandonne le cubilot à lui-même jusqu'à extinction; on cesse de tirer la pierre dès que le niveau supérieur des charges s'est abaissé de 2 ou 3 mètres. La dolomie cuite est extraite après refroidissement.

Un cubilot dont le garnissage a $0^{m},25$ d'épaisseur dure trois ou quatre mois, sauf accident particulier, en lui faisant subir, pendant ce temps, des réparations partielles.

GOUDRON D'ACIÉRIE

Agglomération de la dolomie. — Les matériaux alumino-siliceux peuvent être agglomérés par des liants argileux qui leur donnent de la consistance avant cuisson; mais les garnissages basiques ne

doivent être mélangés avec aucune matière minérale. La magnésie calcinée est liée par des laits de chaux ou de dolomie, sous de faibles épaisseurs, et dans des emplacements où elle peut former un talus; la dolomie nécessite un agglomérant anhydre, sans quoi elle fuserait immédiatement.

Les qualités requises pour cet agglomérant sont donc une neutralité complète envers les bases terreuses, une parfaite déshydratation, une cohésion à froid et à chaud capable de conserver aux produits basiques les formes qu'on leur donnera. Le goudron remplit toutes ces conditions; ses propriétés agglutinantes à froid suffisent pour que les garnissages puissent être bâtis en surplomb, et sa dissociation par la chaleur produit du graphite qui sert de ciment.

Déshydratation du goudron. — Le goudron provenant de la distillation de la houille dans les usines à gaz ou les fours à coke ne convient pas pour le service des aciéries; il renferme, malgré décantation, de l'eau et des huiles volatiles en quantité trop considérable:

GOUDRON DE HOUILLE

Avant distillation		Après distillation	
Huiles légères....	8 0/0	Matières volatiles.	58 0/0
Naphtaline.......	30 0/0	Carbone fixe ...	41,75 0/0
Carbures supérieurs	56 0/0	Cendres........	0,25 0/0
Eau ammoniacale.	6 0/0	Perte au feu à 70°	2 0/0

La distillation fractionnée opérée à grande échelle dans les usines productrices permet de recueillir les produits volatils précieux, en laissant comme résidu le brai gras qui convient aux fabricants d'acier. Bien que ces derniers puissent déshydrater eux-mêmes le goudron en lui faisant subir un chauffage prolongé, le brai livré par les fabriques de produits naphtolés est préférable à cause de sa régularité et de ses qualités supérieures; la distillation par grandes masses s'opère plus aisément, et la récupération des huiles légères compense les frais de transformation.

Le goudron déshydraté est expédié dans des wagons-citernes cylindriques ou plats, traversés par un serpentin pour le réchauffage par la vapeur; une soupape inférieure sert à la vidange. L'aciérie dispose d'un bassin de réception étanche, souterrain, où le goudron s'écoule directement. On doit avoir en stock la quantité correspondant à la consommation de quatre ou cinq semaines.

Le bassin souterrain est aussi bien maçonné et cimenté que possible pour éviter toute infiltration d'eau ; il est abrité sous un hangar et les regards pratiqués dans la voûte s'élèvent au-dessus du sol. On emploie avantageusement un bassin en tôle posé dans une fosse en maçonnerie qui isole complètement le goudron de tout contact avec l'eau. Le sol environnant maintient une température suffisante pour que le goudron reste fluide ; en outre, le tuyau d'aspiration des pompes est entouré d'un serpentin de vapeur, soudé et sans joints à l'intérieur du réservoir. Le repos et la chaleur douce séparent les huiles qui ont échappé à la distillation, et l'eau qui peut s'être accidentellement introduite.

La distribution du goudron jusqu'aux emplacements où on l'emploie se fait par une canalisation en fer de 80 à 100 millimètres de diamètre, entourée d'un calorifuge dans lequel est noyé un serpentin de vapeur. Elle aboutit à un réservoir supérieur donnant la charge nécessaire pour l'écoulement, d'une capacité de 3 à 4 tonnes, et chauffé par un serpentin intérieur sans joints ou par un petit foyer à bois. Outre son rôle d'appareil distributeur, ce réservoir joue aussi celui d'appareil évaporatoire secondaire, quand on reconnaît qu'un réchauffage prolongé du goudron est utile, soit qu'il conserve trop d'huiles légères, soit qu'il ait été mouillé. Son alimentation est assurée par une petite pompe à piston plongeur, actionnée au moyen d'une transmission et chauffée à la vapeur ; toute pièce de bronze est exclue de sa construction ; les clapets sont des boulets en fonte ; les robinets de distribution sont de préférence des vannes ou des soupapes à soulèvement, car les robinets à boisseau coïncent fréquemment en hiver.

Tous les appareils concernant le goudron doivent être soigneusement abrités ; une toiture en tuiles ne suffit pas à protéger les citernes ouvertes contre la pluie et la neige ; un plafonnage cimenté est de beaucoup préférable.

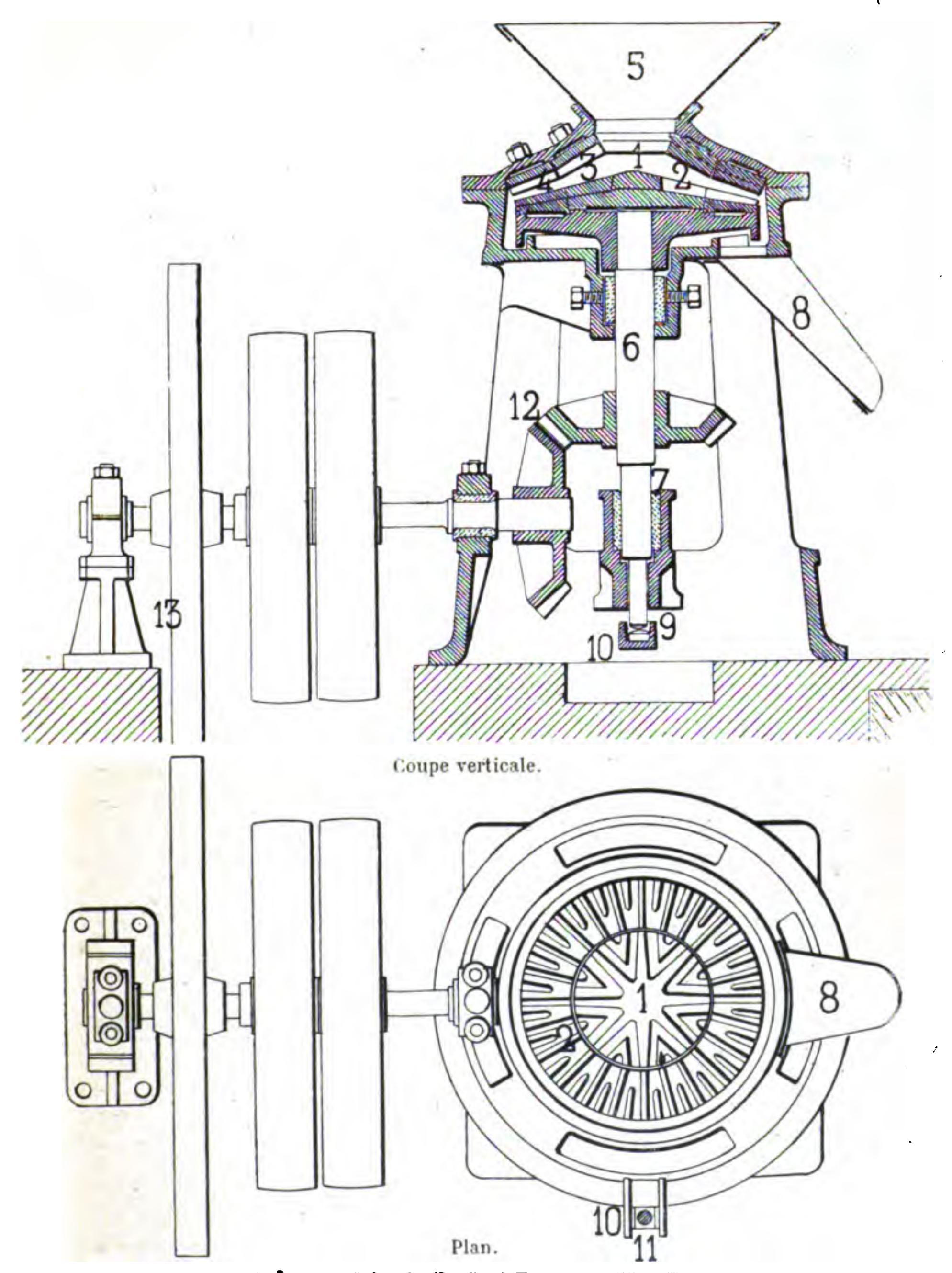
Si l'on chauffe les réservoirs à feu nu, la chambre où ils se trouvent se remplit de vapeurs lourdes qui se subliment sur les parois. Il faut disposer une cheminée d'appel qui les évacue à l'extérieur ; on ne doit d'ailleurs jamais approcher des chaudières avec une lampe à flamme nue, car les vapeurs et les sublimations de naphtaline sont explosives.

PRÉPARATION DES MATÉRIAUX BASIQUES

Triage de la dolomie. — Un cubilot, même bien conduit, produit toujours quelques incuits et des fragments vitrifiés par les cendres de coke; certaines cendres, peu agglomérantes, donnent des poussières qu'on sépare par tamisage. A sa sortie du cubilot, la dolomie est prise à la fourche; chaque pelletée est jetée sur un crible de 8 à 10 millimètres qui sépare les poussières. On emploie à ce travail plus minutieux que pénible des hommes consciencieux, souvent des vieillards; ils nettoient ou rejettent complètement les fragments vitrifiés et remettent les incuits avec la pierre crue. La pierre cuite est avancée à proximité des broyeurs et classée par catégories; les meilleurs morceaux sont destinés à la confection des fonds ; les moins bons, aux pisés voisins de la cuirasse.

Broyage. — Les faibles dimensions des pierres cuites et l'inégalité de leurs formes obligent à rechercher un état physique plus apte à la construction ; la dolomie frittée est donc réduite en grains fins, puis agglomérée en briques au moyen de goudron. Les mortiers qu'on utilise dans la confection des garnissages sont des mélanges de goudron et de pierre convenablement broyée; la pratique seule indique la plasticité de la pâte qui convient le mieux aux divers cas, ainsi que la finesse du broyage.

Le broyage entre cylindres cannelés est peu employé ; il exige plus de puissance que l'écrasement par cisaillement, qui est le principe des broyeurs à meules plates. Ces appareils comportent une meule dormante, fixe, légèrement conique, surmontant une meule courante presque plate ; l'écartement entre les deux pièces décroît depuis le centre jusqu'à la périphérie. Ces couronnes sont en fonte dure trempée, garnies de dents radiales dont le nombre augmente vers la circonférence, alors que leur relief et leur espacement diminuent. L'alimentation se fait par un œillard central pratiqué dans la couronne dormante ; les fragments de dolomie sont coïncés entre les cannelures et cisaillés, tandis que la force centrifuge, jointe à la légère inclinaison de la meule courante, les entraîne vers la périphérie où leurs dimensions se réduisent de plus en plus. La couronne mobile est commandée par engrenages d'angle en acier ; on peut la



Brôyeur à dolomie (Laeïs, à Trèves-sur-Moselle).

1. Meule courante (couronne intérieure). — 2. Meule courante (couronne extérieure). — 3. Meule dormante (couronne intérieure). — 4. Meule dormante (couronne extérieure). — 5. Trémie de chargement. — 6. Arbre de commande et son plateau. — 7. Collier guide de l'arbre. — 8. Couloir de sortie. — 9. Crapaudine de soulèvement. — 10. Traverse de soulèvement de la crapaudine. — 11. Vis de manœuvre de la traverse. — 12. Engrenages moteurs. — 13. Volant.

régler en hauteur suivant la finesse de granulation désirée. La production est rapide et régulière, malgré les chocs violents auxquels est soumis le broyeur et qu'un lourd volant amortit. On doit assurer la lubrification par graisse consistante, car l'échauffement est rapide; la dolomie elle-même, en raison du travail mécanique qu'elle subit, sort à une température de 70 ou 80°.

Le remplacement des meules, surtout de la meule courante, doit être facile, car elles s'usent rapidement. Une couronne de $0^m,800$ de diamètre peut produire 300 tonnes avant usure, ce qui équivaut à quatre cents ou cinq cents heures de marche; il est donc bon d'avoir un broyeur de rechange.

Lors de la démolition d'un garnissage hors de service, les fragments les plus gros et les plus propres sont conservés pour être employés de nouveau, car ils sont d'un fort bon usage s'ils ne sont ni scorifiés, ni mouillés; on en fait un triage soigné, en rejetant les parties pouvant renfermer des grains métalliques, qui briseraient les broyeurs. L'écrasement du pisé et des vieilles briques est plus facile que celui de la dolomie neuve; les meules doivent donc être plus espacées; une épaisse poussière noire se dégage pendant le broyage, composée de dolomie fine et surtout de graphite pulvérisé.

Composition des mélanges basiques. — Suivant les usages auxquels ils sont destinés, les mortiers basiques présentent des proportions variables de dolomie et de goudron. On évalue ces quantités en volume, et chaque opération porte sur une masse de 400 à 600 kilogrammes.

La dolomie, mesurée à la brouette, est entassée en cuvette peu profonde, où l'on verse successivement le nombre convenable de seaux de goudrons; on recouvre aussitôt par de la dolomie sèche qui s'imprègne superficiellement. La consistance indique si la composition est convenable; la dolomie peu frittée et moulue en fine poussière exige, pour acquérir la même consistance, plus de goudron qu'une pierre très cuite et grossièrement écrasée.

Malaxage. — Le mélange à la pelle ne suffit pas pour produire un mortier homogène qui s'agglutine par pression; il faut réaliser un malaxage mécanique et une trituration intime, dans un malaxeur à ailettes ou un tordoir. Ces appareils sont chauffés par une enveloppe de vapeur, afin que le goudron rendu plus fluide pénètre jusqu'au cœur des grains de dolomie.

Le malaxeur à ailettes est une caisse horizontale où passent deux arbres parallèles, garnis d'ailettes hélicoïdales tournant en sens inverse ; le mélange basique, jeté dans une trémie située à une extrémité, sort à l'autre bout, uniformément imprégné de goudron, sans présenter d'agglomérations ; le travail du malaxeur roule les grains de pierre, les triture, mais ne les comprime pas.

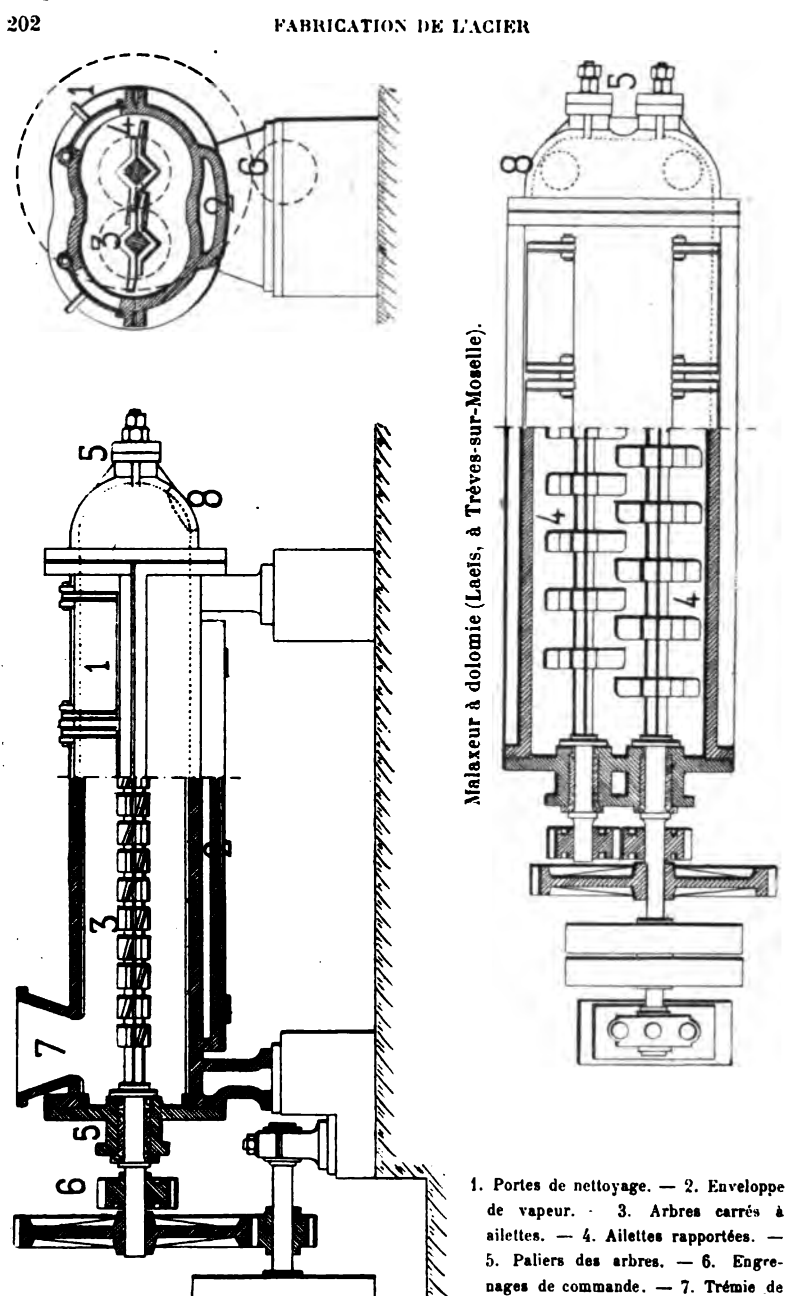
Le malaxage par compression est nécessaire en certains cas ; il est pratiqué dans un tordoir : une piste en acier, chauffée par une enveloppe de vapeur, est parcourue par deux meules en fonte, pesant chacune 2.000 kilogrammes; ces meules roulent sur le mortier, l'agglomèrent en fragments qu'une raclette rejette à l'extérieur dans une brouette.

Conservation des mélanges basiques. — Le mortier basique peut être employé immédiatement, ou mis en stock. Quand le garnissage auquel il est destiné doit être confectionné à la main, on a avantage à l'utiliser pendant qu'il est encore tiède, à 30 ou 40°; son agglomération est alors plus complète. Pour la fabrication des briques à la presse hydraulique, le mélange doit être refroidi, afin qu'après démoulage la brique reste consistante.

La conservation du mortier est plus facile que celle de la pierre, car la présence du goudron réduit ses propriétés hygrométriques; l'imbibition se complète, pendant le repos et le refroidissement, augmentant la puissance de cohésion du mélange. Une trop basse température diminue ses qualités, qu'il reprend très difficilement par réchauffage. Aussi est-il indispensable, en hiver, de maintenir le mortier au-dessus de + 30°, au moyen de braseros disposés à proximité des stocks, même pendant la mise en œuvre. C'est un fait expérimental, difficile peut-être à expliquer, mais qu'il importe de ne pas négliger.

Composition de diverses qualités de mélanges basiques. — Les proportions de goudron et de dolomie varient non seulement avec la plasticité requise, mais aussi avec la finesse de mouture et l'état physique de la pierre.

Les fonds de convertisseurs sont damés immédiatement après la fabrication du mortier, qui renferme 11 à 13 0/0 de goudron; on réserve pour cet usage la dolomie de première qualité; les grains ont de 2 à 4 millimètres de diamètre, et on leur mélange les poussières du broyage.



Malaxeur à dolomie (Laeis, à Trèves-sur-Moselle).

1. Portes de nettoyage. — 2. Enveloppe de vapeur. — 3. Arbres carrés à ailettes. — 4. Ailettes rapportées. — 5. Paliers des arbres. — 6. Engrenages de commande. — 7. Trémie de chargement. — 8. Orifices de sortie.

Le mortier pour briques est composé de dolomie neuve et de vieilles briques, en parties égales ; les grains ont 2 millimètres. Il ne demande que de 9 à 10 0/0 de goudron ; aussi, le mélange est-il moins gras que celui des fonds ; on lui fait subir un repos minimum de vingt-quatre heures, qui le refroidit et le durcit.

Les pisés damés à la main dans le convertisseur sont encore moins gras que les briques ; la finesse de mouture est la même, mais la proportion de goudron est de 7 à 9 0/0 ; après un meulage rapide, le mélange doit rester à peine aggloméré. Comme on l'emploie à chaud, on obtient facilement la compression sous le choc des dames. Le refroidissement durcit ensuite le pisé, et le rend assez résistant pour ne pas s'effondrer.

Enfin, les joints coulés sont composés de poussières fines de dolomie neuve, à peine humectées de 6 0/0 de goudron ; elles ne sont pas écrasées à la meule et restent en tas sans agglomération. La poussière est faite juste avant l'emploi, puis délayée dans un bain de goudron chaud, à proximité de la cornue à réparer.

FABRICATION DES BRIQUES DE GARNISSAGE

Principes de construction. — Les diverses parties du revêtement de la cornue ne subissent pas des efforts mécaniques semblables, des actions chimiques égales en nature et en intensité ; elles ne sont donc pas toutes construites de la même manière. Le fond perforé est la partie la plus fragile ; sa durée est variable, mais toujours courte par rapport à celle du garnissage latéral. Pour que le remplacement d'un fond n'immobilise pas trop longtemps la cornue, il est indispensable qu'on puisse l'opérer sans attendre le refroidissement de l'appareil et sans qu'il soit nécessaire d'y pénétrer ; à cet effet, diverses dispositions ont été adoptées pour la boîte à vent et l'attache du fond.

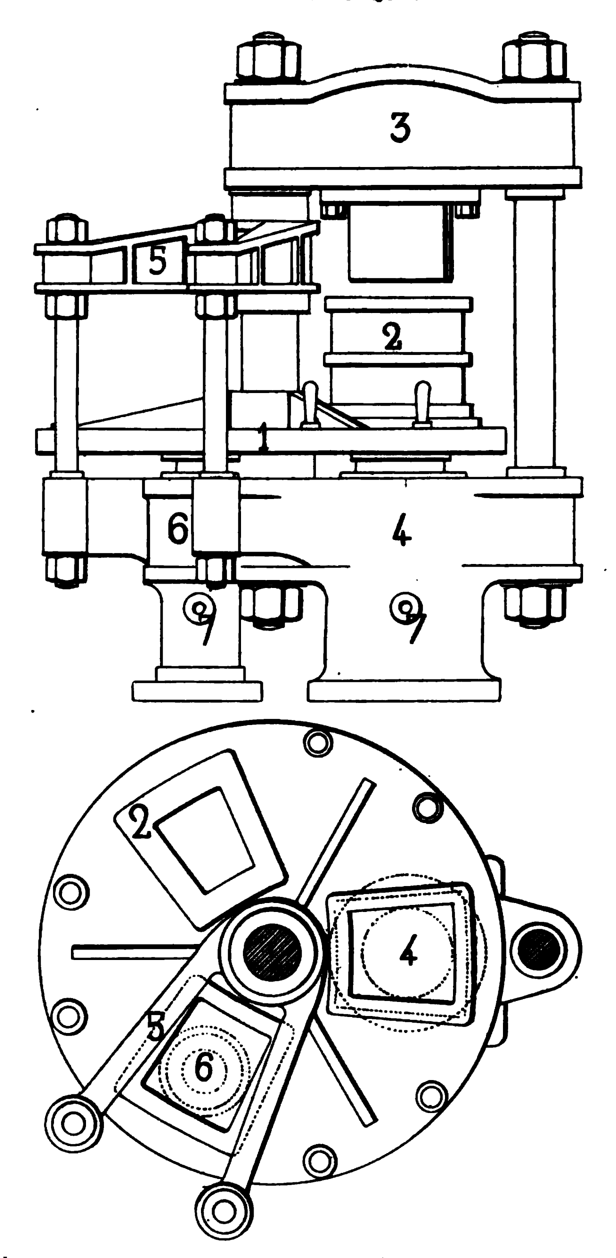
Les parois de la cornue sont forcément construites pendant qu'elle est froide ; on peut employer des matériaux préalablement cuits ; mais, comme la forme irrégulière de la panse conduit à faire des joints nombreux et difficiles, on préfère garnir la cuirasse de matériaux plastiques crus, formant une masse homogène, un seul bloc, qui sera ensuite séché et cuit dans la cornue même. Pour accélérer le travail, on emploie des briques moulées mécaniquement suivant le

profil nécessaire ; la compression exercée par une machine est plus énergique, plus uniforme que celle que donnerait un travail manuel, de sorte que la résistance s'en trouve accrue. Cependant, comme la panse, de forme sphérique et conique, exigerait des modèles nombreux et compliqués, le garnissage de cette région est constitué par un pisé monolithe façonné sur place entre la cuirasse et un gabarit. Son épaisseur n'est pas uniforme, puisque l'usure ne le sera pas non plus ; on la règle proportionnellement à cette usure.

Fabrication des briques crues. — Les briques de dolomie crue sont obtenues par compression dans des moules métalliques. La cohésion que procure le goudron suffit pour qu'un mur de 3 ou 4 mètres, maçonné avec ces briques, ne s'effondre pas sous son propre poids. Le mortier est employé froid, après un repos de vingt-quatre heures : le mélange encore chaud se comprimerait mal, laisserait suinter le goudron trop fluide, et resterait sans consistance. On prépare la quantité de mortier basique nécessaire pour la confection d'un garnissage, une journée au moins avant la mise hors de service du convertisseur à regarnir.

Les moules sont en acier coulé ; les parois latérales sont d'une seule pièce ; les fonds se composent de deux plaques mobiles : une pression mécanique agissant sur l'une d'elles la rapproche de la seconde, que maintient un sommier fixe, comprimant ainsi le mortier entre elles. Cette fabrication comprend donc trois opérations successives : remplissage du moule, compression du mélange, démoulage du pain obtenu.

Les presses à briques les plus répandues sont disposées dans le genre des presses à agglomérer les charbons. Les trois opérations susdites sont continues ; trois moules sont disposés, à 120° l'un de l'autre, sur un plateau circulaire horizontal, dont la rotation les amène successivement aux points de remplissage, de compression et de démoulage. La compression est obtenue par le piston d'un cylindre hydraulique qui agit sous la plaque mobile formant le fond du moule ; un sommier supérieur fixe sert de butée à la plaque recouvrant le mortier. La course morte du piston et la première compression sont données par une injection d'eau à pression réduite, 30 ou 40 kilogrammes par centimètre carré ; une seconde canalisation introduit ensuite dans le pot de presse de l'eau sous une pression dix fois plus forte, afin d'achever la compression de la brique par un serrage énergique.



Presse à briques de dolomie
(Laeïs, à Trèves-sur-Moselle).

1. Plateau tournant. — 2. Moule à briques. — 3. Sommier de compression. — 4. Cylindre de compression. — 5. Bras d'arrêt des moules. — 6. Cylindre de démoulage. — 7. Raccords des tuyaux d'eau sous pression.

Le démoulage est opéré par un autre piston hydraulique agissant sous la plaque de fond, le moule étant maintenu par deux bras latéraux sous lesquels il s'engage; la brique et les plaques de fond sont seules soulevées.

L'énergie hydraulique est généralement fournie par une pompe spéciale à deux pistons, desservant deux accumulateurs, l'un à basse, l'autre à haute pression. Quelquefois, quand on dispose d'une canalisation d'eau, on supprime les pompes, en empruntant la pression réduite à la conduite générale, et en décuplant cette pression au moyen d'un accumulateur multiplicateur.

La fabrication des briques est continue ; elle occupe trois équipes d'ouvriers. En face du secteur de cercle qui ne comporte pas d'appareil hydraulique, on fait le remplissage des moules préalablement graissés avec des huiles lourdes; la plaque supérieure est posée sur le mortier qui affleure la tranche du moule; une rotation de 120° l'amène sous le sommier fixe. Sous la pression d'eau de 30 kilogrammes, les plaques se resserrent, écrasant entre elles le mortier basique; puis, lorsque cette pression n'a plus d'effet, l'injection d'eau à 350 kilogrammes donne un choc qui achève la compression. Dès qu'on ouvre l'échappement, le piston redescend, abandonnant le moule qui vient reposer sur le plateau, et qu'une nouvelle rotation amène au démoulage. Là, sous l'action de la presse et grâce à l'enduit gras dont on a recouvert le moule et les plaques, la brique s'en détache aisément; elle est alors portée au magasin.

Les briques destinées à la maçonnerie de la panse, pour lesquelles les plans de pose ne sont pas parallèles, sont obtenues par interposition d'un coin sur la plaque inférieure formant le fond du moule. Leur fabrication est plus difficile que celle des modèles courants; l'épaisseur, la dureté de ces derniers reste régulière tant que la composition et l'état physique du mortier sont constants, et que le remplissage des moules se fait de même. Une brique bien pressée est compacte, se laisse tailler sans s'effriter au marteau tranchant ou au burin, et offre une coupure luisante tachetée de points blancs.

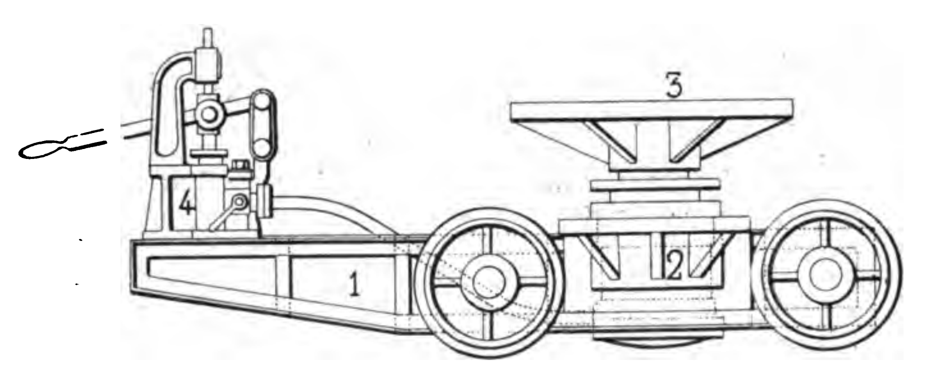
Une presse donne facilement 60 à 80 briques à l'heure; ces briques ont 15 à 17 centimètres d'épaisseur et pèsent de 30 à 40 kilogrammes ; en six ou huit heures, on en façonne le nombre nécessaire pour le garnissage d'un convertisseur. Elles peuvent se conserver quarante-huit heures dans un endroit sec et frais; elles y sont placées en piles peu élevées, reposant sur un plancher en bois. Elles sont transportées sur des brouettes plates; quand leur cohésion est

insuffisante, elles ne résistent pas à la manutention : c'est une épreuve de leur qualité.

FABRICATION DES FONDS DE CONVERTISSEURS

Plaque support de fond. — En raison de leur épaisseur, d'une part, et de leur introduction dans un garnissage chaud, de l'autre, les fonds de convertisseurs doivent être cuits avant d'être posés.

Dans le procédé acide, on emploie généralement des tuyères rap-



Truck de manœuvre des fonds de convertisseurs.
1. Châssis de truck. — 2. Cylindre hydraulique. — 3. Sommier portant la plaque de fond.
4. Pompe de compression.

portées ; dans le procédé Thomas, les orifices sont ménagés dans la masse même du fond ; les tuyères en matériaux basiques présentent peu de solidité, et sont d'un usage assez rare.

Le fond est indépendant de la boîte à vent, dans laquelle il pénètre pour gagner son logement; là, il bute contre une couronne qui sert également d'appui à la maçonnerie. Il est nécessaire de combler le joint entre le garnissage et le fond, par l'intérieur même du convertisseur, soit que l'on y pénètre s'il est en construction, soit que l'on y introduise un coulis s'il est en service. La paroi latérale du fond du convertisseur est donc libre; seule, la base repose sur une plaque de fonte, qui devra résister à tous les efforts mécaniques auxquels le fond sera soumis.

La plaque de fond est destinée à remplacer, pour cette partie du revêtement, la cuirasse du convertisseur ; le garnissage de dolomie

n'étant pour elle, malgré son épaisseur (50 à 80 centimètres), qu'un revêtement réfractaire. C'est précisément sur le fond que les efforts, les chocs sont les plus violents ; on donne à la plaque 5 centimètres d'épaisseur, en choisissant, pour la mouler, de la fonte de bonne qualité et très élastique. Le garnissage en dolomie laisse à la périphérie de la plaque une bordure libre, qui formera la portée de calage contre la couronne de la cuirasse. La plaque est percée d'autant de trous que le fond lui-même; ils sont venus de fonte au moyen de petits noyaux coniques, ayant 2 millimètres de plus que les trous d'injection d'air. La manutention de la plaque se fait par des mortaises creusées dans la tranche de la couronne de calage, et où l'on enfonce des broches. L'adhérence du garnissage contre la plaque est augmentée par des nervures concentriques qui s'encastrent dans le mortier; aucun glissement ne peut se produire après fabrication, et la concordance des trous de la plaque et du fond reste assurée.

Manteau de damage des fonds. — Au moment de sa pose dans la cornue, le fond ne comporte aucune cuirasse latérale; mais, pendant sa fabrication, il est enfermé dans une enveloppe résistante qui le met à l'abri de toute déformation : c'est une cuve en fonte légèrement conique comme le fond lui-même, en une ou plusieurs pièces ; elle est en tous cas fendue suivant une génératrice, et possède ainsi une certaine élasticité qui facilite le démoulage. Ce manteau est appliqué et centré sur la plaque support contre la nervure extérieure ; on le serre avec des boulons prenant appui sur des oreilles, ou bien avec des cercles de fer qui l'entourent complètement; il peut ainsi résister sans déformation à la pression intérieure qui se développera pendant la cuisson.

La durée des manteaux est limitée, car la forte chaleur qu'ils endurent lors de la cuisson brûle la fonte, diminue son élasticité, et augmente les dimensions extérieures; ils servent pour 30 ou 40 opérations.

Damage à la main. — La consistance du mortier basique pilonné est telle qu'il est impossible d'y percer, par refoulement ou par forage, les canaux d'injection d'air : il faut les ménager dans le fond lors de sa confection. Pendant la cuisson, ces trous se combleraient, ou laisseraient suinter le goudron, s'ils étaient libres ; on leur conserve leur forme au moyen d'un noyau qu'on puisse ensuite facile-

ment retirer. On ne peut employer des broches en fer qui adhéreraient au pisé; on a donc recours à des baguettes de bois que la cuisson carbonise lentement sans les consumer, et rend très friables.

Le damage à la main est effectué avec des dames en fer de formes diverses, autour des baguettes enfoncées verticalement et calées dans les trous de la plaque support. Le mortier doit être de très bonne qualité, assez gras pour s'agglomérer sous des dames non chauffées. Il est réparti en couches de 5 centimètres qui sont pilonnées d'abord entre les baguettes, au moyen d'une dame plate et mince, puis avec un outil plus large, perforé d'un œil, qu'on enfile successivement sur chacune des verges de bois, pour comprimer la matière autour d'elles. Pour les premières couches, on maintient la verticalité des baguettes en les redressant de temps en temps avec un gabarit en tôle reproduisant le perçage du fond ; quand l'épaisseur du damage atteint 15 centimètres, l'encastrement des baguettes suffit à les maintenir. Le manteau est ainsi rempli par couches successives jusqu'au bord supérieur, auquel affleure la tête des baguettes. La confection est alors terminée, et le fond prêt pour la cuisson.

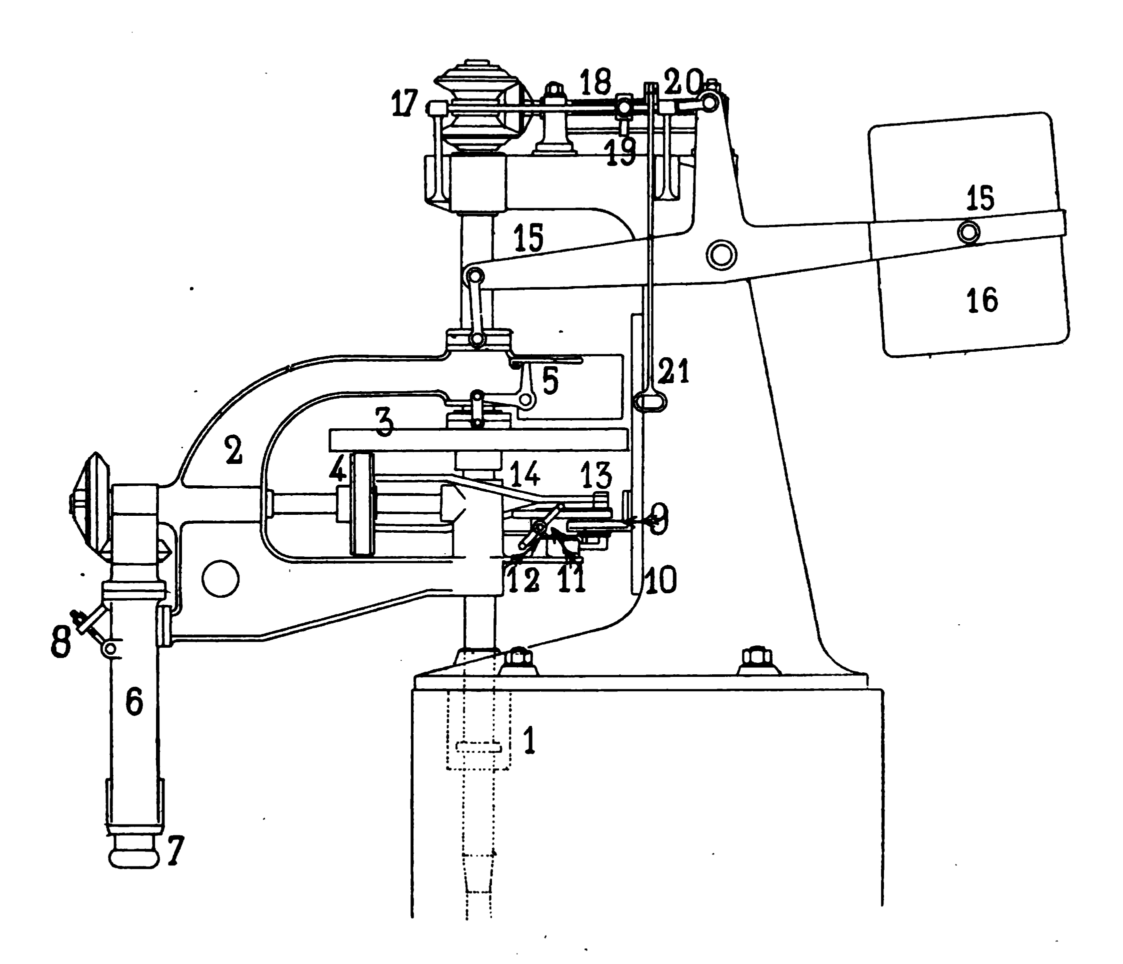
Une équipe de cinq hommes dame un fond de 3 tonnes en huit heures de travail. Les dameurs de fonds sont choisis parmi les ouvriers consciencieux, car il est de toute importance que la compression soit partout uniforme, afin que l'usure du fond ne se localise pas, et ne cause une mise hors service prématurée.

Machine à damer. — Un appareil mécanique opérant le damage des fonds doit exécuter les mêmes opérations que celles du travail manuel : comprimer uniformément le mortier dans la capacité du manteau, et ménager les trous de soufflage, bien parallèles, en correspondance avec ceux de la plaque de fond. Pour ce dernier point, une machine agirait difficilement entre les baguettes de bois, si on plaçait ces dernières avant le damage; aussi les trous sont-ils obtenus au moyen d'aiguilles d'acier qui, s'élevant verticalement, percent le fond au fur et à mesure de sa fabrication, affleurant constamment le niveau du mortier dans son manteau.

Le fond circulaire sera damé uniformément, s'il tourne d'un mouvement régulier sous un pilon capable de se déplacer suivant un rayon de ce fond, et dont le nombre de battements par unité de temps est proportionnel à sa distance au centre du fond ; chaque unité de surface reçoit ainsi le même nombre de coups. La plaque

Machine à damer les fonds de convertisseurs. — Mécanisme d'élévation des aiguilles.

1. Arbre moteur. — 2. Arbre vertical commandant le mouvement du pilon. — 3. Pignon conique commandant la rotation de la couronne dentée. — 4. Couronne dentée portant la plaque. — 5. Plaque support. — 6. Agrafes de la plaque support sur la couronne. — 7. Manteau. — 8. Quatre galets supportant la couronne. — 9. Transmission par chaîne sans fin à l'appareil des aiguilles. — 10. Train d'engrenages et embrayage commandant l'appareil d'élévation des aiguilles. — 11. Tige filetée, et entraînant la rotation du plateau porteur d'aiguilles. — 12. Etoile tournante. — 13. Tiges reliant l'étoile à la couronne dentée. — 14. Etoile à écrou mobile entraînée par la rotation de la couronne. — 15. Tiges d'entraînement de l'étoile à écrou mobile. — 16. Plateau porteur des aiguilles. — 17. Aiguilles à suspension élastique. — 18. Guide supérieur des aiguilles, fixé à la couronne dentée.



Machine à damer les fonds de convertisseurs. — Équipage du pilon.

1. Arbre vertical commandant les mouvements du pilon. — 2. Equipage portant les mouvements de transmission et d'orientation du pilon. — 3. Plateau entraîné dans la rotation de l'arbre vertical par une clavette longue. — 4. Galet en cuir, recevant le mouvement du plateau lorsque celui-ci y repose par son propre poids. — 5. Leviers de suspension du plateau, débrayant le galet en cuir. — 6. Fourreau contenant les rampes hélicoïdales et le ressort transformant la rotation en mouvement alternatif saccadé. — 7. Tête de pilon. — 8. Levier de réglage de la tension du ressort. — 9. Circulaire entraînée dans l'élévation de l'équipage du pilon. — 10. Glissières guidant le mouvement de la circulaire. — 11. Pignon denté orientant la position de l'équipage du pilon. — 12. Vis sans fin commandant la rotation du pignon denté. — 13. Plateau et maneton commandant la translation du galet de cuir sur son arbre. — 14. Bielle fixant la position du galet sous le plateau. — 15. Leviers de suspension de l'équipage du pilon. — 16. Contrepoids de l'équipage. — 17. Train d'engrenages commandant l'élévation de l'équipage du pilon. — 18. Tige filetée reliée au train d'engrenages. — 19. Ecrou mobile guidé. — 20. Bielles de liaison de l'écrou mobile aux leviers de suspension. — 21. Embrayage du train d'engrenages.

de fond, munie du manteau, est montée sur une couronne tournant d'un mouvement uniforme ; le pilon est suspendu au-dessus d'elle à un équipage mobile qui le maintient toujours à la même hauteur au-dessus de la surface du pisé, de sorte que l'intensité des battements reste constante. Cette suspension est faite par une fourche munie d'un contrepoids qui équilibre le pilon et son équipage dans son déplacement le long d'un arbre vertical, de sorte qu'un faible effort agissant sur le contrepoids dans l'un ou l'autre sens amène la tête du pilon au niveau désiré. L'arbre vertical sert également d'axe d'orientation à l'équipage ; la tête du pilon peut donc se mouvoir depuis le centre du fond jusqu'au bord du manteau.

La commande du pilon est prise sur l'arbre vertical par l'intermédiaire d'un plateau horizontal, entraîné dans la rotation de l'arbre, à quelque hauteur qu'il se trouve, au moyen d'une longue rainure ; ce plateau s'appuie sur un galet en cuir, mobile également le long d'un arbre horizontal, au moyen d'un système d'excentriques et de cames qui sont reliés aux organes d'orientation de l'équipage du pilon par rapport à la plaque de fond, de telle sorte que la vitesse de rotation du galet en cuir et de son arbre est maxima quand le pilon s'approche du manteau, et presque nulle quand il est au-dessus du centre du fond.

La transformation du mouvement circulaire à vitesse variable, en courses verticales alternatives saccadées du pilon, est obtenu comme dans les perforatrices de mines ; une rampe hélicoïdale soulève le marteau en bandant un ressort dont le déclenchement brusque produit le coup de pilon.

Les tuyères sont ménagées, au cours de la confection du fond, par des aiguilles animées, en outre du mouvement circulaire de la plaque de fond, d'un mouvement vertical propre dont on peut régler à volonté le sens et l'amplitude. Ces aiguilles sont montées sur un plateau et réparties de la même manière que les trous du fond ; elles sont entraînées dans la rotation de la couronne qui soutient la plaque de fond par des tirants fixés sur cette couronne, le long desquels le plateau peut prendre un mouvement vertical dont l'amplitude totale est égale à l'épaisseur finale du fond. Par l'ascension progressive du plateau, la tête des aiguilles, qui tout d'abord dépasse à peine la plaque de fond, peut s'élever jusqu'au bord supérieur du manteau, créant dans chacune des couches du pisé une tuyère qui fait suite à l'orifice de la plaque support de fond. Pour que le choc du marteau ne brise pas les aiguilles, elles sont fixées sur le plateau

par l'intermédiaire d'un ressort à boudin, qui s'écraserait sous un effort trop violent. L'ascension du plateau porteur d'aiguilles est réalisée par sa réunion avec un écrou mobile le long d'une vis verticale, à laquelle un train d'engrenages communique un mouvement différentiel par rapport à celui de la couronne supportant le fond; lorsque l'une et l'autre tournent à la même vitesse, les aiguilles restent immobiles.

Le mécanicien qui conduit la machine a donc à combiner les effets de trois mouvements différents : ascension du pilon par rapport au niveau du pisé dans le manteau ; — orientation de ce pilon et simultanément réglage de la rapidité des battements; — ascension des aiguilles par rapport au niveau du pisé.

Damage mécanique. — La plaque de fond est orientée sur la couronne de la machine de manière que les aiguilles soient en correspondance avec les trous, qu'elles traversent et dépassent légèrement; le manteau, assujetti sur la plaque, est enduit de graisse minérale. On charge alors la première couche de mortier, en la répartissant uniformément sur la plaque. Le damage s'exécute en commençant au centre; le pilon est suspendu à quelques centimètres au-dessus de la surface du mortier, de manière que, dans son déclenchement, il soit arrêté par le mortier avant la fin de sa course, et ne frappe point sa butée. On l'éloigne peu à peu du centre jusqu'à la périphérie, puis, pour regagner le centre, on le descend légèrement, de façon qu'il frappe avec la même vigueur que précédemment. Cette opération se renouvelle trois ou quatre fois, en abaissant à chaque passage l'équipage du pilon, à mesure que la compression s'opère; le damage est suffisant lorsque le mortier ne prend plus d'empreinte sous un coup de marteau.

Avant de charger la couche suivante, on gratte la surface au crochet, pour produire des arrachements superficiels qui faciliteront le soudage des lits; la seconde couche est alors damée de la même façon; mais, avant le damage, on élève légèrement le plateau porteur d'aiguilles, de manière qu'après compression complète, la tête des aiguilles soit très voisine de la surface du pisé, tout en restant légèrement recouverte de mortier.

Le manteau est ainsi complètement rempli par couches successives de 5 à 6 centimètres. Les aiguilles sont alors élevées à la hauteur maxima afin de traverser le fond en entier, puis descendues à fond de course. On enfonce immédiatement, dans les trous laissés libres,

des baguettes rondes en bois, légèrement taillées en biseau à leur extrémité, et trempées dans des huiles lourdes afin de glisser plus aisément ; on les frappe à coups de maillet, jusqu'à refus. Si l'une d'elles se casse avant enfoncement complet, on la retire avec des tenailles et on la remplace, sans quoi, pendant la cuisson, le goudron et la dolomie s'écouleraient par le trou libre de la plaque, laissant des cavités dangereuses dans l'intérieur du fond.

Cuisson des fonds. — La cuisson des fonds basiques doit décomposer les carbures du goudron, et n'en laisser que le carbone fixe qui sert de liant à la masse. Le fond, soumis à des actions violentes dues aux chocs du métal à l'orifice des tuyères, doit présenter une résistance physique supérieure à celle des parois, d'autant plus qu'il n'est pas, comme elles, scorifié superficiellement par la crasse. Il est indispensable que le goudron soit, avant l'emploi, totalement délivré des matières volatiles, dont le dégagement pendant la cuisson produirait des vapeurs à haute tension, qui feraient éclater les couches successives du fond.

La cuisson doit se faire à l'abri de l'air et sous pression, car, si le goudron brûlait complètement, il n'aurait plus aucun pouvoir agglutinant ; les baguettes de bois entreraient également en combustion et leurs logements se refermeraient sous la pression du mélange basique. La puissance d'expansion de la dolomie goudronnée est considérable ; elle est parfois assez violente pour casser les cercles qui enserrent les cuves ; aussi est-il nécessaire de clore entièrement la partie supérieure du fond par un couvercle en fonte, au-dessous duquel on bourre de la poussière de dolomie ou de coke, pour ne laisser aucun vide où le goudron puisse fuser. Ce couvercle est maintenu par de forts étriers en acier prenant appui sous la plaque support de fond et calés à refus. Les armatures étant portées au rouge avec le fond doivent être très puissantes, pour conserver leur résistance à cette température.

Étuves dormantes. — Les étuves dormantes sont des arches renfermant 3 ou 4 fonds qui reposent sur de petites banquettes, de sorte que toute leur surface est exposée aux flammes ; les dimensions du four sont réduites au minimum pour que la réverbération des parois reste intense et que les gaz lèchent les manteaux. Des foyers latéraux servent au chauffage : ce sont des grilles ordinaires, dont le rampant débouche sur les banquettes, entre deux fonds ; ils sont

disposés dissymétriquement de chaque côté. Une des extrémités de l'arche est murée; l'autre, qui sert à l'enfournement, est fermée par une porte à guillotine garnissée en briques. Les carneaux de fumée débouchent auprès des extrémités, et se réunissent dans un rampant sous la sole de l'arche, pour aboutir à une cheminée.

La sole de l'étuve est dallée avec des plaques de fonte, dont les nervures forment une voie de transport pour les fonds ; les banquettes sont elles-mêmes recouvertes par une bordure en fonte reliée par des tirants aux armatures extérieures.

Les étuves sont construites en briques réfractaires ordinaires, et disposées hors de l'atelier de fabrication des fonds, la porte d'enfournement étant à l'aplomb du mur du bâtiment. Des armatures résistantes prennent appui sur ce mur, et maintiennent la cloison fermant l'étuve ; la voûte est armée par des tirants transversaux : les alternances de température auxquelles sont soumises ces étuves nécessitent un entretoisement particulièrement robuste.

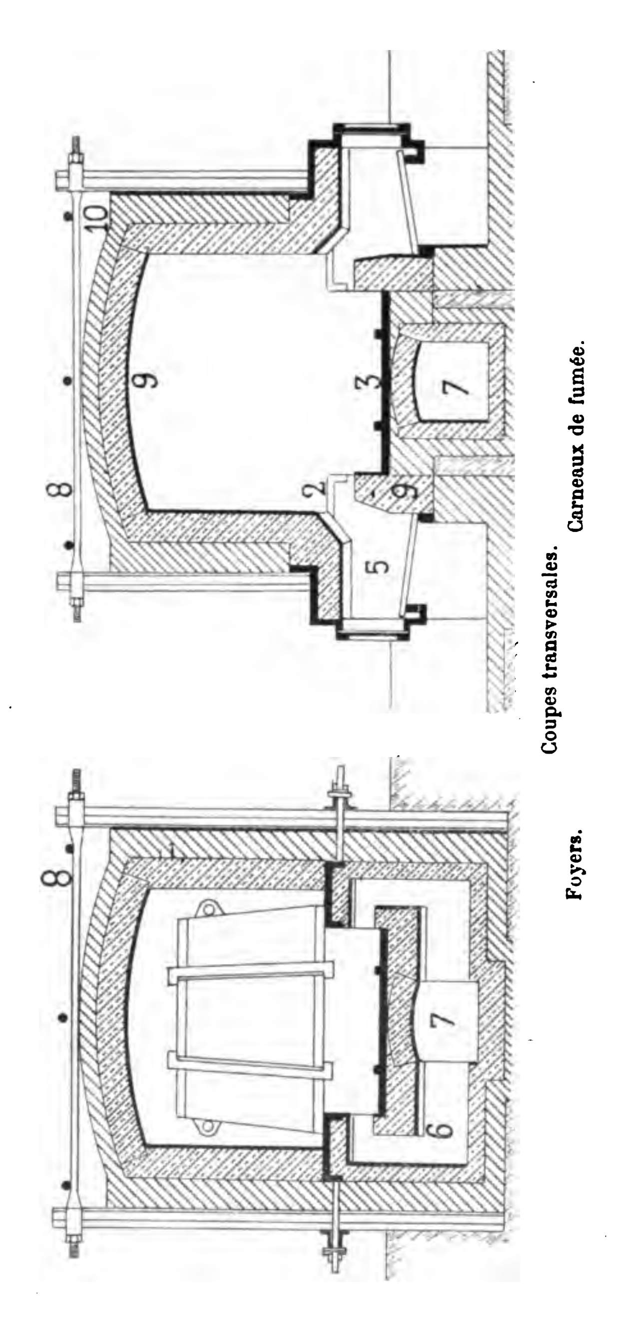
On enfourne les fonds au moyen d'un truck portant un vérin hydraulique et une petite pompe. Le plateau du vérin étant soulevé à sa hauteur maxima, on y place le fond, on roule le tout dans l'étuve, et on dépose le fond sur les banquettes en abaissant le plateau. On exécute les mouvements inverses pour le défournement.

Quand l'étuve est remplie, on ferme et on lute la porte ; les feux sont allumés et vivement conduits ; on laisse passer un excès d'air pour conserver une atmosphère oxydante et enflammer les vapeurs de goudron qui s'échappent par les joints du couvercle et du manteau. Il faut atteindre vivement la température du rouge, sinon le goudron coule et laisse la dolomie sans cohésion ; les baguettes carbonifiées conservent leur forme primitive et empêchent tout suintement dans les trous.

La cuisson dure quarante à cinquante heures ; l'inflammation des vapeurs se produit au bout de six ou huit heures, et continue jusqu'à la fin du chauffage, entretenant une température de 500 à 600° ; lorsqu'elle est terminée, on peut laisser tomber les feux. On ferme le tirage, et on laisse l'étuve se refroidir ; trente ou quarante heures après, on retire les fonds.

Cette marche discontinue nécessite la mise en service de deux étuves au moins ; on y place les fonds aussitôt après leur fabrication : c'est là qu'ils sont le mieux à l'abri de l'humidité.

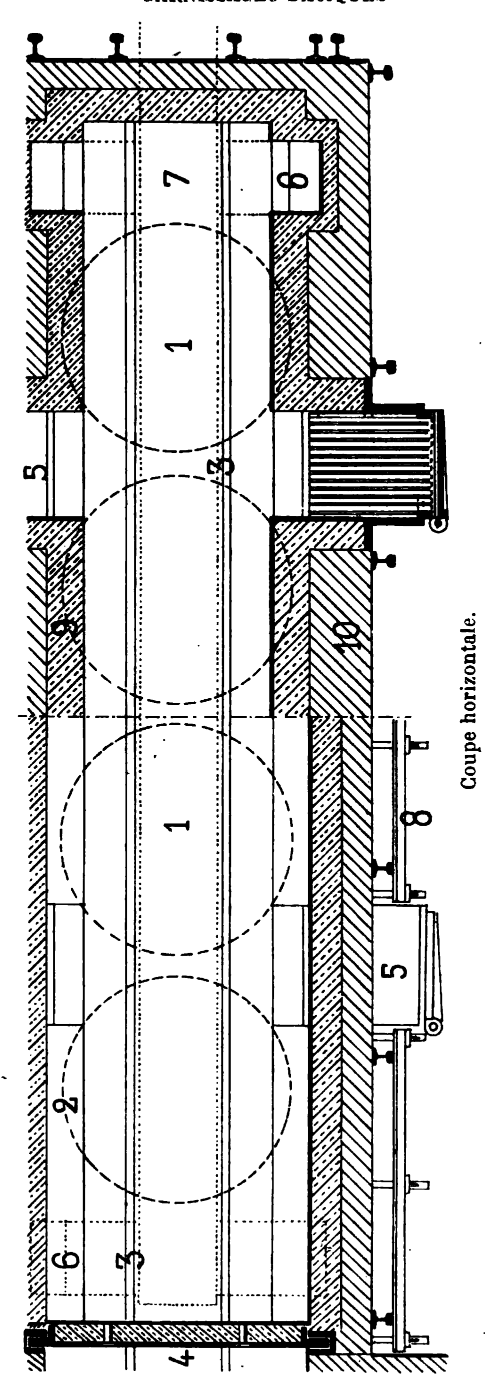
Étuves courantes. — La nature de la cuisson en étuves courantes



Coupes transversales.

Carneaux de fumée.

Foyers.



Étuve dormante à cuire les fonds.

1. Fonds en cuisson. — 2. Banquettes. — 3. Voie du truck de manœuvre. — 4. Porte d'enfournement. — 5. Foyers. — 6. Carneaux de fumées. — 7. Collecteur de fumées. — 8. Armatures. — 9. Briques réfractaires. — 10. Briques ordinaires.

diffère de celle qui se produit dans les fours dormants : c'est une dessiccation lente, effectuée d'ailleurs sur un mortier moins gras, et réglée de façon que le goudron soit en partie volatilisé et dissocié avant d'atteindre une fluidité suffisante pour pouvoir s'écouler. La décomposition progressive des produits carburés aboutit finalement au même résultat : formation d'un réseau de graphite autour de la dolomie. L'expansion du fond est moins forte que par la cuisson vive ; les manteaux peuvent donc être moins résistants. On ne sort le fond de l'étuve que juste au moment de l'employer ; il n'est pas exposé à se fissurer par un refroidissement précipité.

Ces étuves courantes permettent de réaliser une économie de goudron et de combustible, et donnent de très bons résultats ; on les rencontre dans la plupart des installations récentes. Elles sont constituées par une longue arche renfermant 6 ou 7 fonds ; à l'une des extrémités se trouvent deux foyers latéraux allongés, dont les fumées traversent l'arche dans toute sa longueur, pour aboutir à des carneaux de tirage situés à l'autre bout. Le dallage en fonte comporte une voie ferrée se prolongeant de part et d'autre des extrémités, qui sont toutes deux fermées par des portes métalliques à guillotine ; la porte voisine des foyers seule demande à être garnie de briques. Toute la construction est en briques réfractaires; la voûte est maintenue par des tirants, très rapprochés au voisinage des foyers.

En marche normale, l'étuve est remplie de fonds à divers degrés de cuisson ; celui qui est le plus voisin du foyer est complètement sec et disponible. Dès qu'on en a besoin, on ouvre la porte et on le retire avec un cabestan ; la rame des trucks accrochés l'un à l'autre s'avance dans l'étuve, laissant en arrière une place libre. Quand la porte d'avant est refermée, on ouvre celle d'arrière après avoir interrompu le tirage, et on introduit un nouveau fond, en accrochant son truck au dernier wagon de la rame ; on referme la porte et la cuisson continue. Le chauffage au coke donne 400° près du foyer et 60° à l'autre extrémité ; l'atmosphère intérieure est plutôt réductrice, car on ne cherche pas à enflammer les vapeurs de goudron. La cuisson durant six à sept jours, il est nécessaire d'avoir deux étuves en service lorsqu'on use plus d'un fond par jour.

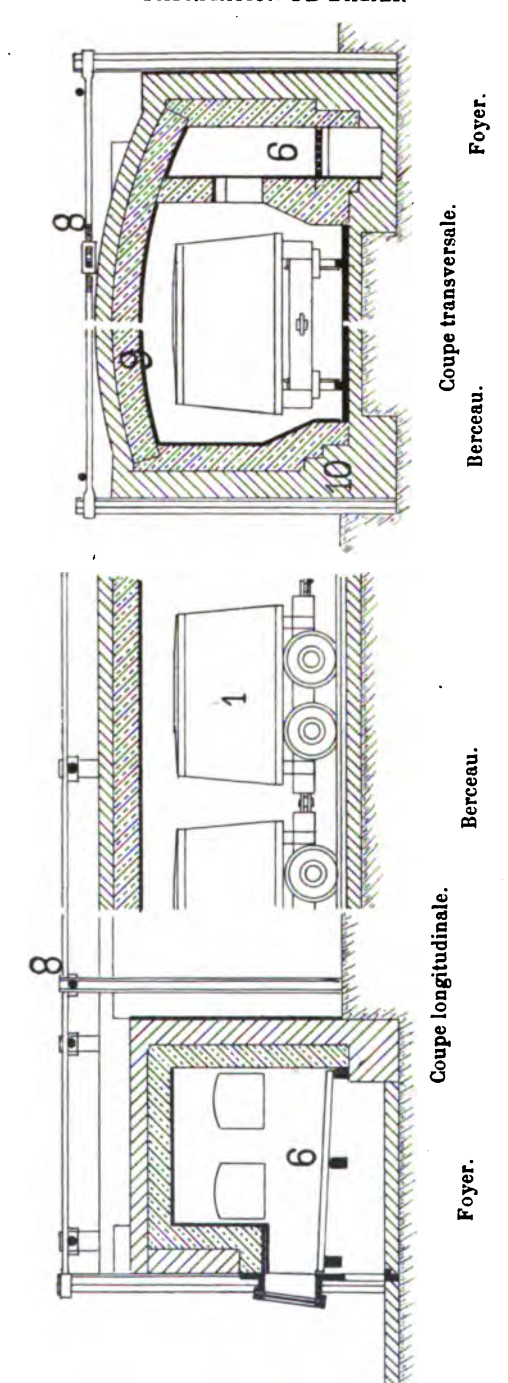
CONSTRUCTION DU GARNISSAGE

Démolition du convertisseur hors service. — On met un convertisseur hors service quand l'épaisseur du garnissage, devenue trop faible, ne protège plus suffisamment la cuirasse métallique contre les effets de la température intérieure ; le minimum d'épaisseur est de 15 à 20 centimètres. Il n'est pas nécessaire de démolir entièrement le vieux garnissage pour en reconstruire un neuf : on cherche au contraire à conserver sur la cuirasse tout ce qui y adhère fortement.

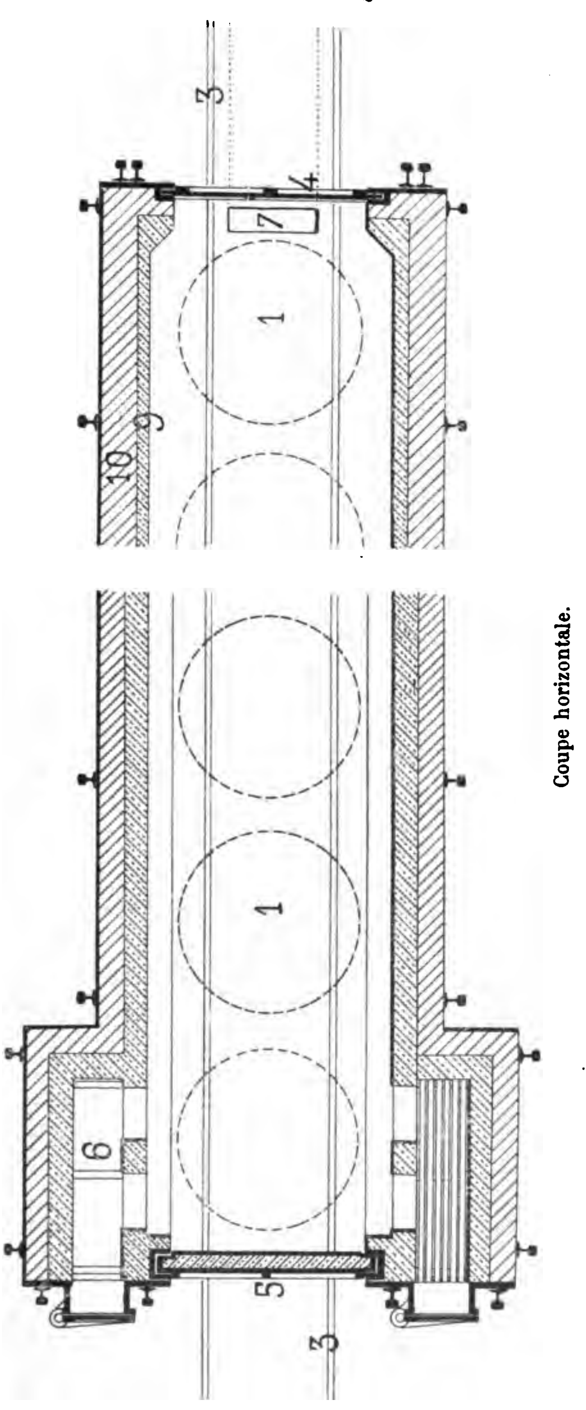
On commence la démolition dès la mise hors feu, pour que la cornue reste inutilisée aussi peu de temps que possible : on s'attaque d'abord au fond, qui est crevé à coups de mouton : un courant d'air s'établit, et favorise le refroidissement. Quand le fond est défoncé, comme le rayonnement, par cette ouverture, est considérable, on vient attaquer le bec à coups de pinces, de manière à enlever les bavures métalliques qui se sont formées sur la brique et sur la tôle. Le loup qui recouvre le dos pénètre dans les joints et les crevasses du revêtement, et se prolonge souvent jusqu'à la partie cylindrique; on le frappe à coups de mouton. Si on ne peut l'enfoncer par l'avant, on dégrade par l'arrière les points par où il prend appui sur la maçonnerie, de manière à le faire glisser dans la panse et à le sortir par l'ouverture béante du fond. On balance fréquemment la cornue pour verser les débris à terre et favoriser la chute des parties à demi détachées ; la puissance hydraulique ainsi dépensée est largement compensée par l'économie de main-d'œuvre qui en résulte. Il y a lieu d'agir avec prudence si le loup est de grosses dimensions, car, en se détachant brusquement, il peut heurter violemment la cuirasse inférieure, et arracher les boulons qui l'attachent à la ceinture. Quand le loup est trop volumineux pour passer par le fond, on attend le refroidissement complet pour le débiter à la tranche.

Le décollement du loup entraîne généralement la chute d'une partie du pisé de la panse, dans les cavités et les fissures de laquelle il s'était infiltré. La partie inférieure du revêtement, depuis la boîte à vent jusqu'à la naissance de la panse, est toujours construite en briques; sa démolition s'effectue par l'arrière de la cornue, où la

Étuve courante à cuire les fonds.



1. Fonds en cuisson. — 2. Trucks porteurs. — 3. Voie des trucks. — 4. Porte d'enfournement. — 5. Porte de défournement. — 6. Foyers latéraux. — 7. Carneau de fumées. — 8. Armatures. — 9. Briques réfractaires. — 10. Briques ordinaires.



Coupe horizontale.

température devient le plus rapidement supportable; on attaque chaque rangée de briques à sa partie supérieure, de manière à briser la clé de l'anneau, qui s'écroule ensuite spontanément; on se sert d'une longue pince suspendue à une corde, qui en supporte partiellement le poids. La partie inférieure du garnissage, restée longtemps en contact avec le bain, a acquis une dureté considérable, en raison de la haute température à laquelle elle a été soumise ; pinces et burins s'y s'émoussent fréquemment. A cause de sa résistance même, il n'est pas toujours nécessaire de la démolir jusqu'à la couronne métallique qui sert d'assise au briquetage.

La température du convertisseur est alors suffisamment basse pour qu'on puisse y pénétrer; les ouvriers se relaient, et travaillent munis de sabots et de gants de cuir. Avec des pioches et des petites pinces frappées à la masse, on achève la démolition, en conservant toutes les parties qui adhèrent fortement à la cuirasse et qui ne créeront pas d'obstacle à la reconstruction. L'assise inférieure du briquetage, formée de quelques rangées de briques alumineuses, est soigneusement dressée, pour que le premier rang de briques basiques y repose bien d'aplomb. On enlève les infiltrations métalliques, sur lesquelles la dolomie n'adhère pas après cuisson, ce qui compromettrait la solidité du revêtement à cet endroit.

On nettoie les briques de démolition et les plus gros fragments du pisé, pour les employer de nouveau en mélange avec de la dolomie fraîche.

La durée de la démolition d'un convertisseur varie avec son état d'usure et avec l'épaisseur du fond et du loup de bec; elle est de dix-huit à vingt-quatre heures; il a fallu attendre douze à quinze heures avant de pénétrer dans l'intérieur. Souvent même, après la démolition, la température est encore trop élevée pour qu'on puisse commencer immédiatement la reconstruction, sans compromettre la résistance du futur garnissage.

Briquetage de la partie inférieure. — Autrefois, la cuirasse de la cornue était amovible et pouvait être aisément séparée de la ceinture; les réparations du garnissage s'effectuaient hors de la halle de soufflage, dans l'atelier basique. Cette pratique nécessitait des manœuvres pénibles, que l'on évite actuellement en opérant les reconstructions sur place.

La plus grande propreté doit régner aux alentours de la cornue, car les matériaux basiques souillés par des corps étrangers n'ont

qu'une durée très réduite, et quelquefois ne peuvent même plus être utilisés; les abords du convertisseur sont soigneusement balayés et recouverts de planches qui recevront les briques et le mortier.

Au-dessus du bec du convertisseur redressé, on dispose une toiture volante en tôle, qui le protège contre la pluie et les diverses poussières de l'aciérie; l'humidité ét le froid sont deux ennemis dangereux, que l'on combat en installant des braseros à proximité du dépôt de briques; la cornue est elle-même réchauffée par un brasero placé juste en dessous, ou par une cuve à scorie encore chaude, qu'on renouvelle de temps en temps.

Le convertisseur est placé verticalement dans la position de soufflage; dans la boîte à vent, on dispose un échafaudage prenant appui dans les mortaises où s'engagent les cales du fond; on élève les matériaux au centre même de l'échafaudage, au moyen d'une poulie accrochée à la tôle du bec de la cornue. Deux maçons prennent place sur l'échafaudage et aplanissent l'assise inférieure, qu'ils montent sur une hauteur de 30 centimètres en briques alumineuses, car cette partie n'est jamais en contact avec le bain. Sur le dernier rang, on place la première assise de briques basiques, suivant un gabarit exactement circulaire dont le diamètre est légèrement supérieur à celui du fond qui s'y encastrera. Les briques de dolomie sont placées côte à côte, sans interposition d'aucun ciment; il faut avant tout s'attacher à une bonne exécution des joints radiaux, plus qu'à la régularité du parement intérieur, qu'il est toujours facile de tailler par la suite. Il existe ordinairement trois modèles de briques avec rayons de courbure différents, que l'on combine de façon à obtenir un cercle sensiblement régulier, sans tailler les joints; seule, la clef qui ferme l'anneau doit être faite dans une brique taillée sur une face; ce joint est placé au dos du convertisseur, là où les accidents que provoque le garnissage présentent le moins de gravité. Dès qu'une assise est terminée, on la cale en comblant l'espace qui la sépare de la cuirasse ou de l'ancien revêtement, au moyen d'un pisé très maigre fortement damé. Comme ce pisé ne subit pas le contact du bain, on réserve pour sa construction les matériaux de démolition mélangés à très peu de dolomie fraîche.

Le second rang est posé de la même façon sur le premier, sans ciment, et les joints sont croisés; on choisit pour chaque assise des briques ayant toutes la même épaisseur. Le profil intérieur reste cylindrique pour toute la partie qui correspond à l'épaisseur du fond; au delà, il s'élargit et devient conique.

On élève l'échafaudage par planchers successifs distants l'un de l'autre de $0^m,80$, cloués sur des poteaux qui transmettent la charge au plateau inférieur. On continue ainsi le briquetage jusqu'à la naissance de la panse en suivant le profil déterminé, mais en sacrifiant toutefois son exactitude rigoureuse à la concordance des joints. Immédiatement après sa pose, chaque assise est calée par un bourrage en pisé maigre qui la resserre vers l'intérieur.

L'expérience indique quel est le profil qui donne le maximum de sécurité avec la dépense minima de dolomie, et qui présente une usure uniforme lors de la mise hors service. Il est bon d'élargir ce profil immédiatement au-dessus de la surface supérieure du fond, de manière à diminuer la hauteur du bain et à éloigner les remous du joint du fond.

La construction en briques est rapide, car il n'y a presque aucun ajustage de matériaux à exécuter. C'est le bourrage qui emploie le plus de temps; s'il est insuffisant, les briques mal comprimées peuvent prendre du jeu, et tomber pendant les mouvements de la cornue. On pose 40 à 50 briques à l'heure, de sorte qu'en huit à dix heures on exécute le briquetage d'un convertisseur, depuis la boîte à vent jusqu'à la panse.

Briquetage de la panse et du bec. — Le briquetage des régions sphérique et conique constituant la panse et le bec nécessite l'emploi d'un grand nombre de formes de briques. Celles que l'on utilise pour la portion sphérique sont à faces convergentes; on les obtient à la presse en plaçant au fond du moule une plaquette à faces non parallèles. Les réactions obliques sont annulées le long des parois du moule, et la compression s'opère uniformément; si, au contraire, la cale était placée sous le sommier supérieur, la réaction ferait glisser le mortier vers la partie de la brique la plus épaisse, et le moule risquerait d'être brisé. Malgré ces précautions, le briquetage de la panse exige de nombreuses tailles, qui retardent le travail. Le bec est relativement facile à exécuter, avec des briques de rayons variables à faces parallèles; elles laissent des redans que l'on doit abattre au marteau.

L'inconvénient des joints multiples, souvent mal exécutés, que présentent les becs briquetés apparaît lors de la formation d'un loup; il est difficile de l'enfoncer au mouton, sans arracher une partie des briques; c'est pourquoi on exécute généralement la panse et le bec en pisé, bien que cette méthode soit plus lente et plus coûteuse.

Construction en pisé de la panse et du bec. — La construction en pisé se fait en damant vigoureusement du mortier maigre entre la cuirasse et un gabarit ayant la forme du vide intérieur de la cornue. Ce gabarit est en pièces de bois assemblées, ou, plus fréquemment, en tôles de 4 à 5 millimètres, renforcées par des cornières. La division de la surface interne de la panse est faite en bandes de 20 à 30 centimètres de hauteur, longues de 1^m,20 à 2^m,00, et s'assemblant pour former un anneau complet, au moyen de boulons à tête plate; les rangs successifs sont réunis par des goujons; l'anneau inférieur du gabarit repose par sa cornière sur la dernière assise de briques.

Pendant que l'on dame la région sphérique, le convertisseur est maintenu vertical et l'élévation des matériaux se fait par l'intérieur. Quand on atteint le cône du bec, on incline la cornue pour que l'axe du cône devienne vertical; les dimensions du plancher de l'échafaudage sont de plus en plus réduites; comme il ne peut plus comporter d'ouverture centrale, la dolomie goudronnée est amenée sur un plancher suspendu au niveau du bec, et descendue à l'intérieur dans des seaux. L'échafaudage reste complètement indépendant du gabarit sans s'appuyer dessus, pour ne pas le fausser ni l'ébranler.

La damage s'effectue par couches de 5 à 8 centimètres d'épaisseur finale, moitié moindre que l'épaisseur primitive. La dolomie, légèrement tiède, est versée entre la cuirasse et le gabarit, que l'on a enduit d'huiles lourdes pour éviter l'adhérence du goudron. Le maçon la répand avec sa truelle en couche uniforme; il prend soin de combler tous les vides, particulièrement contre la tôle du gabarit et l'ancien damage adhérent à la cuirasse. Les dameurs, aussi nombreux que le permet l'exiguïté de l'échafaudage, compriment le mortier avec des dames en fer pesant 5 à 6 kilogrammes, à tête carrée ou rectangulaire; ces dames sont chauffées en rouge naissant, et fréquemment changées. Chaque ouvrier occupe un secteur de l'anneau, et il commence par pilonner contre la tôle du gabarit, où la compression doit être très énergique, afin de constituer une croûte résistante. L'épaisseur de la couche diminue peu à peu; elle atteint son minimum après trois ou quatre passages successifs. Un nouvel anneau du gabarit est mis en place, s'il y a lieu, et on dame une nouvelle couche de dolomie, qui se soude à la première par simple contact. L'adhérence du mortier contre l'ancien garnissage est accrue par la rugosité des surfaces; elle est toujours supérieure à celle du nouveau revêtement sur la tôle nue. Si, pendant la construction, on remarque un trou ou un joint dans la cuirasse, on l'obture

complètement avec une bandelette de tôle intérieure garnie de mastic, car l'expansion des gaz qui se dégagent pendant la cuisson chasserait par cette ouverture le goudron et la dolomie, laissant ainsi un vide dangereux.

Il est difficile d'obtenir, par les temps froids, une bonne compression de la dolomie, car la fluidité du goudron et son pouvoir adhérent sont alors très faibles. On doit préparer le mélange basique au moment même de son emploi, et chauffer les seaux dans lesquels on le transporte, car ce n'est pas en chauffant les dames plus fortement que l'on tournerait la difficulté : au delà de 400°, elles brûlent le goudron, lui font perdre ses propriétés, sans échauffer suffisamment la dolomie.

On arrête la construction en pisé à 40 ou 50 centimètres de la tranche du bec, afin d'établir à cet endroit un anneau résistant, trouvant sa force dans sa forme même, et servant de butée au garnissage de la panse. La région du bec correspondant à la panse et qui se trouve en contact avec le bain lors du décrassage et de la coulée en poche est maçonnée avec des briques de dolomie cuites, provenant de la démolition d'une cornue; ces briques sont taillées suivant la forme nécessaire et calées avec un hourdis de dolomie goudronnée, soigneusement bourré dans les joints. Le dos de l'anneau du bec est en briques alumineuses de formes spéciales, hourdées au coulis siliceux. En tous points, les assises doivent être normales aux parois de la cuirasse et parallèles à la tranche du bec; le taillage des briques est donc une opération minutieuse. Les joints sont aussi minces que possible, et normaux à la cuirasse, pour éviter les infiltrations de métal et les dislocations. L'arête du déversoir est circulaire, légèrement aplatie pour que la scorie s'écoule en nappe mince.

L'épaisseur du damage est sensiblement égale à celle de la partie briquetée : 40 à 50 centimètres dans la panse, se réduisant à 35 centimètres au bec et 25 centimètres dans le dos. On met de douze à quinze heures pour damer la panse d'une cornue de 12 tonnes; la construction du bec dure trois ou quatre heures, car un seul maçon peut y travailler.

Pose du fond. — Il faut, pour poser le fond, enlever l'échafaudage intérieur et les gabarits de damage de la panse. Comme la résistance du pisé, qui n'est plus soutenu par le gabarit, dépend alors uniquement de la cohésion due au goudron, on doit réduire autant que possible la durée de cette opération, en préparant le fond pen-

dant que s'achève la maçonnerie du bec. On démonte les anneaux du gabarit en commençant par la partie supérieure ; grâce à l'enduit gras dont on les a recouvertes, les pièces se détachent aisément du pisé ; l'échafaudage, démoli en même temps, servira pour une construction suivante. On examine soigneusement la paroi interne du garnissage, en le sondant au marteau ; la dolomie doit résister au choc sans se déformer, et résonner comme de la pierre. Si des fissures prennent naissance, si des fragments de pisé se détachent, on arrête immédiatement le démontage des anneaux du gabarit, car il est certain que le revêtement s'effondrerait avant la cuisson ; mieux vaut le refaire tout de suite.

Le premier fond d'un convertisseur neuf est relié au garnissage au moyen d'un pisé comprimé dans le joint par l'intérieur de la cornue. On fabrique dans ce but des fonds spéciaux, de diamètre réduit, de manière à laisser un joint circulaire de 4 à 5 centimètres ; il suffit pour cela de revêtir intérieurement les manteaux de bandes en fer plat, ayant 20 millimètres d'épaisseur, et accrochées par des pinces au bord supérieur ; on a soin, avant de les étuver, d'y faire une remarque extérieure pour pouvoir les reconnaître immédiatement à la sortie des étuves de cuisson. Porté par le truck à vérin hydraulique, le fond est amené sous le convertisseur, et fixé dans son logement au moyen des corbeaux d'agrafes et de cales.

On pilonne le joint avec des dames longues et plates, à manche droit, qu'on peut enfoncer sur toute la profondeur du joint. Pour assurer l'adhérence de la dolomie goudronnée sur le fond cuit, on verse tout autour de celui-ci un mélange très clair de dolomie finement moulue avec 30 ou 40 0/0 de goudron ; les parois s'humectent et se soudent par la cuisson. Le joint est rempli par couches successives de dolomie fine goudronnée, analogue à celle du pisé de la panse, mais ne présentant aucune agglomération ; on comprime immédiatement chaque couche avec les dames légèrement chauffées.

Le grand inconvénient des joints damés est la présence toujours possible de cavités dues à une mauvaise compression, nuisant à la cohésion et à la résistance des couches voisines ; elles proviennent souvent de ce que l'intervalle entre le briquetage et le joint est trop faible pour le passage des dames ; aussi vaut-il mieux, dans ce cas, entailler préalablement la maçonnerie. Pendant l'exécution du joint, on surveille de l'extérieur la manière dont se comporte le pisé de la panse, afin de faire sortir les hommes s'il y a danger d'effondrement ; ceux-ci quittent la cornue dès que le joint est damé. En même

temps, une autre équipe a préparé la plaque du fond de la boîte à vent sur le truck porteur de fond ; elle la met en place et la boulonne.

Le démontage du gabarit et la pose du fond durent au moins deux heures.

Cuisson du garnissage. — La mise en feu doit être conduite de manière à durcir immédiatement la paroi intérieure, dont la consistance maintiendra les couches sous-jacentes dilatées par la chaleur et la distillation du goudron. En raison de la forte teneur du revêtement en matières volatiles inflammables, l'atmosphère interne est réductrice et peu favorable à l'inflammation rapide du goudron, qu'on accélérera au besoin en injectant beaucoup d'air sur le combustible.

Il est indispensable d'opérer la mise en feu rapidement; c'est une grande chance de succès. On oriente le convertisseur de façon que le bec soit sous le tuyau de chaux. Sur un truck sans plateau, on a préalablement préparé, dans une enveloppe en tôle, un brasero contenant 400 kilogrammes de coke incandescent; on l'amène au-dessus de la cornue, dans laquelle on fait tomber le combustible, en retirant les barreaux de grille. Aussitôt après, on y jette un stère au moins de bois sec, à longue flamme, sapin ou bouleau, puis on ajoute du coke (1.500 kilogrammes pour une cornue de 10 tonnes); on donne tout de suite le vent, à très faible pression, en orientant la cornue de telle sorte que l'axe du cône soit vertical; c'est dans cette position que le surplomb des diverses parties du garnissage est minimum, et qu'il risque le moins de s'effondrer.

Une fumée grise s'échappe tout d'abord, car le bois s'enflamme difficilement sous le coke qui le recouvre; des fumées noires se montrent au bec; c'est l'instant critique, car, si la combustion ne s'établit pas rapidement, le goudron s'échauffe peu à peu, devient fluide, et s'écoule, laissant la dolomie sans consistance. On augmente légèrement l'injection d'air; la flamme du bois s'allonge suffisamment pour atteindre au-dessus du bec les gaz combustibles qui se dégagent; ce sont d'abord des explosions brusques et distinctes, qui se prolongent pour former une flamme continue. Si l'inflammation ne se produit pas d'elle-même, on la provoque en approchant du bec des chiffons gras enflammés, piqués au bout d'un long ringard. Peu à peu, la flamme se rapproche du bec et pénètre dans le convertisseur, où elle brûle sur les parois le goudron qui suinte. Toute crainte d'effondrement est alors écartée, car la couche

superficielle s'est glacée et a pris de la consistance; le coke entre également en combustion et porte le garnissage au rouge.

Au bout d'une heure, on charge, sans arrêter le soufflage, autant de coke que la première fois, et la même quantité encore une heure après, pour que la flamme reste toujours intense. En même temps on ajoute un peu de poussière de chaux, des scories manganésées provenant de cubilots à spiegel, ou des déchets de fonte inutilisables, afin de scorifier et de rendre fluides les cendres de coke. D'ailleurs, la cuisson du joint s'effectue bien mieux s'il est baigné par une couche de scorie, car le coke seul ne peut échauffer suffisamment les angles du garnissage; le laitier très liquide ainsi formé empêche que des fragments de coke ne s'attachent sur le fond. Il est indispensable de laisser la cornue verticale durant toute la cuisson, et d'y injecter de l'air : un mouvement de grande amplitude pourrait faire écrouler le damage encore peu résistant, et l'arrêt du soufflage laisserait écouler la scorie dans les tuyères, qu'il serait ensuite impossible de déboucher. La cuisson dure trois à quatre heures; au bout de ce temps, la paroi intérieure est au rouge cerise, et la flamme ne présente plus les filets éclairants caractéristiques de la combustion d'hydrocarbures.

Le convertisseur est alors lentement incliné jusqu'à ce que la scorie s'écoule à terre; le coke est versé également sur les plaques de dallage ou dans une cuve à crasse, tandis qu'on détache au crochet les fragments qui adhèrent aux parois. On peut cependant se dispenser de verser à terre tout le coke consumé, quand la scorie s'est bien écoulée et que le combustible n'est pas collé sur le garnissage. Pour conserver la chaleur acquise, on remplit la cornue de coke neuf et on la laisse horizontale.

Aussitôt que le soufflage est arrêté, on ouvre le regard du fond de la boîte à vent, pour que, si une explosion de gaz se produit, elle ne se propage pas dans la canalisation; il est prudent de se placer de côté pour cette opération. Quand le convertisseur a été regarni de coke, on vérifie les trous du fond, qui, malgré les précautions prises, peuvent être partiellement bouchés, soit par la scorie, soit par des dépôts de graphite; la plaque de fond de la boîte à vent est enlevée, et on passe dans chaque trou une longue aiguille carrée d'acier dur.

On laisse le convertisseur ressuer pendant quinze heures au moins avant de l'employer. La chaleur gagne peu à peu la cuirasse; le goudron se décompose, traverse le garnissage grâce à sa porosité ou aux fissures qui s'y sont produites; par le bec et par les joints de

la cuirasse s'échappent des fumées de combustion incomplète.

Il serait dangereux de mettre un garnissage en service aussitôt après qu'il est fabriqué ; la température de la coulée étant bien supérieure à celle de la cuisson, la couche résistante, qui ne dépasse pas encore 10 à 15 centimètres, serait crevassée par l'accroissement brusque de la tension intérieure des vapeurs de goudron. Si même les fumées sont très abondantes, on réchauffe la cornue en y donnant le vent pendant quelques minutes ; c'est ce que l'on fait toujours d'ailleurs après douze heures de repos, si le convertisseur ne doit pas entrer prochainement en service. Il est bon de ne pas prolonger le ressuage au delà de trente-six heures ; si son tour de service n'est pas arrivé, on emploie la cornue neuve pour une ou deux coulées seulement, afin d'en achever la cuisson ; cependant, on se contente parfois de la réchauffer fortement au coke.

ACCIDENTS DANS LA CONFECTION DES GARNISSAGES

Accidents de construction. — Pour diminuer les accidents de construction, on doit se montrer très sévère sur le choix des matériaux, et rejeter ce qui ne donne pas une entière sécurité. Les briques, qui, dans le transport à pied d'œuvre, s'écaillent ou se fendent, sont renvoyées à la meule et servent à la confection du pisé. Parfois, quand la dolomie goudronnée a été employée chaude, ou trop tôt après sa préparation, les briques ont une consistance réduite reconnaissable à leur élasticité ; on ne les utilise qu'après les avoir laissées refroidir douze ou dix-huit heures ; celles qui présentent alors des fissures ou des déformations sont renvoyées aux meules. Quand le manque de solidité est causé par la mauvaise qualité de la dolomie ou du goudron, les briques doivent être absolument rejetées ; en ce cas, leur cassure est blanchâtre, les grains de dolomie s'écrasent, donnant une poussière grise provenant de l'hydratation de la chaux. Si même des briques faites avec de la dolomie humide résistent à la cuisson, elles n'ont qu'une durée restreinte, et entraînent rapidement la mise hors feu du garnissage tout entier.

Des accidents peuvent se produire pendant le briquetage de la cornue. Les rangées inférieures s'écrasent, s'effritent sous le poids des autres, dont elles causent la chute : il vaut mieux les démolir

complètement et les refaire de nouveau, plutôt que de risquer un effondrement après cuisson. Si cependant les crevasses sont localisées, et dues seulement à quelques briques, on étaie les abords de la partie avariée par des boisages entretoisés ; cette partie est découpée au burin, et refaite en briques neuves, soigneusement bourrées de dolomie goudronnée ; la cuisson opère un soudage suffisant des parties ainsi rapportées, qu'on pourra d'ailleurs réparer aisément à chaud, tant qu'elles se trouveront dans la panse ou dans le dos.

Les accidents qui surviennent au pisé sont plus graves, parce qu'ils ne se manifestent qu'après le démontage du gabarit ; ils ne sont pas localisés, car, en raison de la nature monolithe du pisé, dès qu'une portion s'effondre les régions voisines perdent toute solidité, et doivent être refaites. Quand le pisé s'effrite et se détache par plaques, il est prudent de faire sortir immédiatement les ouvriers qui travaillent dans le convertisseur, car fréquemment la panse s'écroule alors entièrement,comme si le goudron n'avait aucune propriété agglutinante ; il n'y a d'ailleurs pas de remède à y apporter. Le mortier qu'on a employé doit être abandonné, car il est, presque à coup sûr, cause de la malfaçon, soit que la dolomie et le goudron aient été humides, soit que les proportions du mélange n'aient pas été convenables. Un excès de goudron donne un mélange trop élastique, qui se comprime mal et qu'il est difficile de damer à la main ; une basse température nuit également aux propriétés du goudron, car sa consistance rend la compression du pisé presque nulle, et l'adhérence très faible.

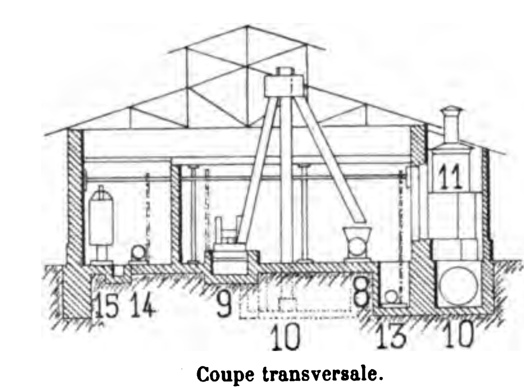
Si le fond est déjà posé, on le décale pour le laisser descendre sur le vérin ; quand la descente du fond ne se fait pas d'elle-même, on évacue par le bec les matériaux de démolition, puis on recouvre le fond d'un plancher en bois que l'on charge de gueuses de fonte, jusqu'à ce que le décollement s'ensuive. Lorsque tout est déblayé, on recommence la construction de la partie avariée, après avoir examiné les briques, qui peuvent être généralement laissées en place.

Accidents de cuisson. — Les accidents qui surviennent pendant la cuisson causent toujours des retards et des pertes importantes de matériaux et de main-d'œuvre. Un allumage défectueux suffit pour endommager gravement le garnissage. Si, par suite de l'échauffement lent et sans inflammation du goudron, la dolomie du pisé vient à s'écailler, elle tombe sur le coke, en retarde encore l'allumage et augmente ainsi les chances de non-réussite. En ce cas, il faut préci-

Atelier de préparation des matériaux basiques pour une aciérie de 600 à 800 tonnes.

Plan.

Coupe longitudinale.



Coupe transversale.

1. Stock de dolomie crue. — 2. Concasseur de dolomie, commandé par électromoteur. — 3. Wagonnet à dolomie concassée. — 4. Monte-charges (coke et dolomie). — 5. Cubilots à dolomie. — 6. Ventilateur. — 7. Broyeur à meules striées. — 8. Malaxeur à hélice. — 9. Malaxeur à meules. — 10. Elévateurs à godets. — 11. Chaudière à réchauffer le goudron. — 12. Citerne à goudron. — 13. Pompe à goudron. — 14. Pompe hydraulique à deux pressions (40 et 400 kilogrammes) alimentant la presse à briques. — 15. Accumulateurs. — 16. Presse à briques. — 17. Machine à damer les fonds. — 18. Étuves dormantes à cuire les fonds. — 19. Pont roulant de manœuvre des fonds. — 20. Electromoteurs.
Dimensions : longueur, 35 mètres ; largeur, 15 mètres.

piter la combustion en injectant une plus grande quantité d'air, à moins que la tôle ne soit déjà mise à nu, et qu'il y ait danger pour la cuirasse. Quand le chauffage est terminé, on vide complètement la cornue pour pouvoir juger des dégâts ; les briques sont généralement mal cuites là où la dolomie a recouvert et étouffé le coke. On peut souvent réparer les défauts à la pelle avec de la dolomie goudronnée, comme si la cornue était usagée ; seules les crevasses et les cavités formées sur les côtés ne peuvent être remises en état, en raison de l'impossibilité où l'on se trouve d'orienter convenablement le convertisseur. Ces réparations sont d'ailleurs reprises lors de la pose du second fond, car on peut, par l'arrière, atteindre les régions du garnissage éloignées du bec ; un revêtement neuf avarié peut ainsi être utilisé, sinon d'une façon normale, du moins suffisamment pour ne pas causer d'arrêt dans la marche de l'aciérie.

Quand, avant la mise en feu, on possède d'ores et déjà des indices d'une mauvaise construction, on effectue le chauffage sur plaque, c'est-à-dire sans fond de dolomie. Si le pisé et les briques semblent peu résistants et incapables d'attendre avant la mise en feu que la pose du fond et la confection du joint soient terminées, on remplace le fond par une plaque-support hors de service, faisant l'office d'une simple grille, sur laquelle la cuisson s'effectuera comme à l'ordinaire. Quand l'opération réussit, elle offre en même temps l'avantage de présenter un briquetage cuit sur toute la hauteur du joint du fond, de sorte que l'on y pose immédiatement un fond à joint coulé. Si, au contraire, le convertisseur s'effondre partiellement, les réparations en sont facilitées par la possibilité d'atteindre les parois, soit par le bec, soit par le fond. En supposant un effondrement complet, on aura évité du moins la perte du fond, ainsi que les accidents de personnel qui eussent pu se produire pendant la confection du joint.

Le briquetage inférieur s'écroule quelquefois sans que le pisé en souffre, au moment où l'on couche la cornue horizontalement ; lorsqu'on ne peut pas réparer à chaud la partie endommagée, il est nécessaire de refaire un nouveau briquetage. On démolit le fond, on renverse la cornue le bec en bas, et on reprend la maçonnerie depuis la panse, en s'élevant vers la boîte à vent ; on boise cette maçonnerie en prenant appui sur l'échafaudage et on la cale fortement contre la couronne inférieure au moyen de briques argileuses, puis la cornue est retournée avec précautions, avant la démolition du boisage et de l'échafaudage, et cuite sur une plaque-support. Cette opération est difficile à cause de la chaleur qui se dégage de la panse, mais elle

mérite d'être essayée, car en cas de succès on sauve ainsi le revêtement de la panse et du bec.

Lavage d'un garnissage. — Quand des effondrements partiels se sont produits, les cendres de coke forment avec la dolomie un silicate peu fusible qui se colle contre le garnissage, et y emprisonne des fragments de combustible. Il est impossible de l'en détacher complètement, et une coulée entreprise dans ces conditions ne produira que du métal très médiocre. On préfère laver la cornue et ronger la scorie qui s'y est fixée au moyen de 600 à 1.000 kilogrammes de fonte liquide, qu'on y verse et que l'on convertit sans addition de chaux : la scorification se fait aux dépens du garnissage, et tout d'abord de la crasse infusible qui s'est déposée sur lui. Le soufflage est poussé jusqu'à oxydation presque complète du fer, c'est-à-dire disparition des fumées rougeâtres. Alors, le convertisseur est rabattu et vidé dans une cuve à crasse dont le fond a été préalablement garni de scorie, qui le protégera contre le laitier rongeant; la scorie très ferrugineuse ainsi obtenue est repassée au haut-fourneau. Malgré la défense de fonte qu'il entraîne, le lavage de la cornue doit être pratiqué dès que le garnissage n'est pas très propre.

ENTRETIEN DU GARNISSAGE

Réparations en cours de marche. — Pendant la coulée de la crasse et de l'acier, le bec, bien que garni de briques basiques, se ronge à leur contact (les coulées très chaudes sont naturellement les plus corrosives) ; l'acier forme des bavures qui emprisonnent les briques et la tôle bavette ; certaines chaux magnésiennes laissent en outre, au niveau de la scorie, un cordon qui encrasse les bords et déforme le déversoir. Un bec garni ou rongé est la cause des pertes de métal par éclaboussures, soit pendant le chargement de la fonte, soit pendant la coulée de l'acier dans la poche. Entre deux opérations, on taille les briques rongées et on les remplace par d'autres provenant d'un vieux garnissage ; on les cale avec des fragments, en les appuyant sur un fer plat, placé en travers de la tôle du bec ; à l'intérieur, on les recouvre d'une couche de dolomie goudronnée qui s'enflamme et acquiert de l'adhérence. Lors du décras-

sage de l'opération suivante, la scorie consolide l'ensemble en pénétrant dans les joints.

La panse s'use toujours plus rapidement que le dos, car elle est baignée par le métal pendant le décrassage et la fusion des additions, périodes dont la durée est presque égale à celle du soufflage ; elle est exposée en outre à une usure mécanique par le chargement de la chaux, de la fonte, et des additions métalliques solides. En rongeant le revêtement au niveau du bain, la crasse y creuse un sillon profond, surtout quand la chaux est mal cuite, ou en quantité insuffisante. L'examen de la forme intérieure indique le degré d'usure de la panse ; on la répare avec de la dolomie goudronnée assez grasse, versée sur la partie avariée au moyen d'une longue palette, et damée avec le dos de cette palette qu'on laisse retomber à coups répétés pour comprimer le mortier. Si le garnissage est bien propre et suffisamment chaud, le graphite naissant soude la pièce, qu'on laisse cuire 20 ou 30 minutes, suivant son épaisseur.

Pour ces réparations, il est nécessaire d'incliner convenablement le convertisseur : la place à réparer est rendue sensiblement horizontale, car le mortier de dolomie coule dès qu'il s'échauffe et prend un talus d'écoulement avant que la cuisson ne l'ait solidifié. Aussi, sur les côtés de la cornue, et au voisinage des tourillons, ce travail est-il difficile. Lorsque l'avarie atteint une zône voisine du bec, on place au-dessous de cette zône un bois de sapin piqué dans un ringard et maintenu contre la paroi ; la dolomie goudronnée qu'on verse à la palette est maintenue par ce bois, dont la combustion active la cuisson du mélange. Si c'est dans la partie inférieure du garnissage que l'on doit faire la réparation, on crée d'abord un appui pour la dolomie en chargeant la chaux de l'opération suivante ; les fragments de chaux sont disposés avec la palette pour former une murette devant la cavité à combler. Une grande partie des matériaux basiques que consomment ces réparations est totalement perdue, en tombant ou s'écoulant pendant leur emploi.

Lorsque l'usure des parois, à la panse ou au dos, est uniforme, on recharge le mélange basique à la pelle, comme sur la sole d'un four Martin ; la scorification de l'opération suivante soude les matériaux ainsi ajoutés. Il est moins facile de réparer les briques, car souvent les bouillonnements du bain les minent par la base, et produisent des cavités peu visibles, entre elles et le bourrage sousjacent. On doit profiter de la pose d'un fond neuf pour les réparer, car il est alors possible de s'approcher plus aisément des parties

endommagées ; il faut opérer aussitôt après la démolition du fond, pendant que le garnissage possède encore une température élevée.

La mise hors service d'un garnissage est décidée quand son épaisseur est assez réduite pour qu'il soit dangereux d'opérer une coulée. On a pour se guider d'autres symptômes que l'aspect de la forme intérieure : quand la température de la cuirasse s'élève par suite d'une transmission plus intense de la chaleur interne, la tôle, noircie jusque-là par la fumée du goudron, blanchit fortement, sous l'effet de la combustion du carbone ; du papier, du bois blanc sec se carbonisent à son contact ; à l'intérieur, le briquetage s'effrite, tombe par morceaux, laissant à nu le pisé sous-jacent. L'existence du garnissage approche alors de sa fin, et il est indispensable de l'inspecter soigneusement avant chaque coulée ; les endroits les plus minces se refroidissent dans l'intervalle de deux opérations, et ils semblent noirs à l'intérieur de la cornue : la mise hors feu est alors indispensable.

Réparations du fond. — L'usure des fonds est plus rapide que celle de toute autre partie du garnissage, en raison de leur constitution même, et des actions auxquelles ils sont soumis. Quand l'usure d'un fond est anormale, la cause en est, soit à lui-même, soit à la conduite des opérations. Les dolomies trop siliceuses, trop calcaires, ou renfermant des alcalis, sont plus fusibles que la dolomie de bonne qualité ; la haute température et les acides naissants les rongent davantage ; l'usure est uniforme, et les orifices des tuyères se terminent par des entonnoirs où vient bouillonner le métal. Du goudron dont le pouvoir agglutinant est faible donne de mauvais fonds ; les couches successives se détachent par plaques ; parfois même, les matériaux basiques se séparent de la plaque-support, et, soumis ainsi à la pression directe du vent, se désagrègent rapidement.

L'allure de l'opération a moins d'influence sur les fonds que sur le garnissage latéral, car ils restent peu en contact avec la scorie ; cependant, l'anhydride phosphorique et surtout la silice attaquent le nez des tuyères, en creusant dans chacune un entonnoir.

La sortie du vent par un orifice circulaire produit dans le métal qui le surmonte un cône de dispersion, d'autant plus net que la pression d'injection est plus forte. Mais, dès que la tuyère commence à s'évaser, des tourbillons se forment sur ses parois, autour de la veine gazeuse qui aspire le métal ; le frottement énergique de

ces courants sur les parois de l'entonnoir le creuse de plus en plus, le mine, jusqu'au moment où la cloison qui sépare deux tuyères voisines soit devenue assez mince pour se détacher, et être entraînée dans le bain, où elle se scorifie. Cette usure mécanique une fois commencée se poursuit rapidement, et le cratère se creuse plus profondément à chaque coulée. Pour l'enrayer, on place la cornue presque verticale, de manière que, du haut de la passerelle de chargement de la chaux, il soit possible d'examiner toute la superficie du fond ; on jette des boules de dolomie grasse dans chacun des trous à réparer, jusqu'à le combler entièrement. L'expérience permet d'arriver à lancer les boulettes assez exactement pour atteindre la tuyère visée, mais il faut se hâter, car le goudron entre en combustion et donne des fumées qui cachent le fond ; on les chassera si besoin est, en injectant un peu d'air à faible pression. Quand les trous sont très profonds, on en comble la partie inférieure avec des fragments de chaux, jetés également par le bec, car le goudron qui imprègne la dolomie s'écoulerait avant de cuire, ne laissant qu'une masse sans consistance.

Cette réparation obture momentanément les tuyères malades, mais bientôt l'usure uniforme abaisse la surface générale du fond, et rend à ces tuyères leur activité primitive. Tous les fonds de convertisseurs, même les meilleurs, nécessitent des réparations, parfois dès les premières coulées.

La mise en état d'une tuyère, telle qu'elle vient d'être indiquée, ne réussit pas toujours ; il faut agir alors plus radicalement. On enlève la plaque de fond de la boîte à vent ; on comble la tuyère avec de la dolomie qu'on y introduit au moyen d'un entonnoir et d'une baguette, et on l'y maintient en obturant l'orifice correspondant de la plaque-support par un tampon d'argile. La tuyère, ainsi complètement supprimée, ne s'use plus ; il n'en résulte aucun inconvénient sensible pour la conversion, tant que le nombre des tuyères bouchées n'atteint pas le cinquième de leur nombre total.

Quand l'usure des tuyères s'étend aux cloisons qui les séparent, un trou profond se forme ; les couches de pisé se détachent successivement, et mettent ainsi rapidement le fond hors service. C'est généralement une fabrication défectueuse qui en est la cause : fond mouillé à cet endroit pendant sa confection, damage mal exécuté, ou baguettes de bois mal enfoncées. Lorsque cet accident se répète sur plusieurs fonds consécutivement, il faut l'attribuer à une cuisson incomplète. On procède à la réparation comme pour un trou de

tuyère ; un repos est ensuite nécessaire jusqu'à cuisson complète et disparition des fumées de goudron ; en même temps, on bouche par l'intérieur de la boîte à vent les tuyères qui se trouvent dans le périmètre endommagé.

Les dégradations qui atteignent le joint du fond contre le garnissage sont fréquentes et difficiles à réparer ; elles sont peu visibles, et d'un accès souvent impossible. Le joint du premier fond posé dans un garnissage neuf est plus sujet aux percées que ceux des fonds suivants, à cause de son mode de fabrication ; le joint damé ne peut cuire que très lentement, vu l'épaisseur du fond, et il n'acquiert une entière cohésion que par l'usure même de ce dernier. Si la cuisson est plus lente que l'usure, le joint cédera, et se creusera très rapidement. Des cavités peuvent d'ailleurs subsister dans le joint, par suite d'un mauvais travail ou de l'impossibilité de se servir convenablement des dames.

Un joint coulé offre-t-il peu de résistance ? C'est pour l'une des raisons suivantes : trop faible température du convertisseur, insuffisante pour assurer la cuisson ; mélange non intime ou mal proportionné de la dolomie et du goudron ; fluidité incomplète de ce coulis ; fuite de goudron dans l'intérieur de la boîte à vent par le pourtour de la plaque-support. Un goudron mal déshydraté donne des résultats déplorables, d'autant qu'il entre en grande proportion dans la confection du joint. On répare les joints comme les tuyères ; il est prudent, dès qu'une cavité s'y forme, de démonter le fond de la boîte à vent, et de s'assurer que la plaque-support du fond n'est pas atteinte ; on en profite pour boucher les tuyères voisines du défaut, et garnir de terre glaise la périphérie de la plaque-support, pour empêcher que le vent, en pénétrant par la fissure, n'en augmente encore l'importance.

Quand le défaut se présente du côté du dos, on peut toujours, après réparation, souffler une nouvelle coulée, qui, en cas de besoin, sera terminée par un soufflage en travers. Une percée du côté de la panse oblige, au contraire, à remplacer le fond, sinon on risque de brûler complètement la boîte à vent. On doit s'assurer, après démolition d'un fond, qu'il ne reste pas, dans l'intérieur de la maçonnerie, du métal qui nuirait à l'adhérence de la dolomie goudronnée.

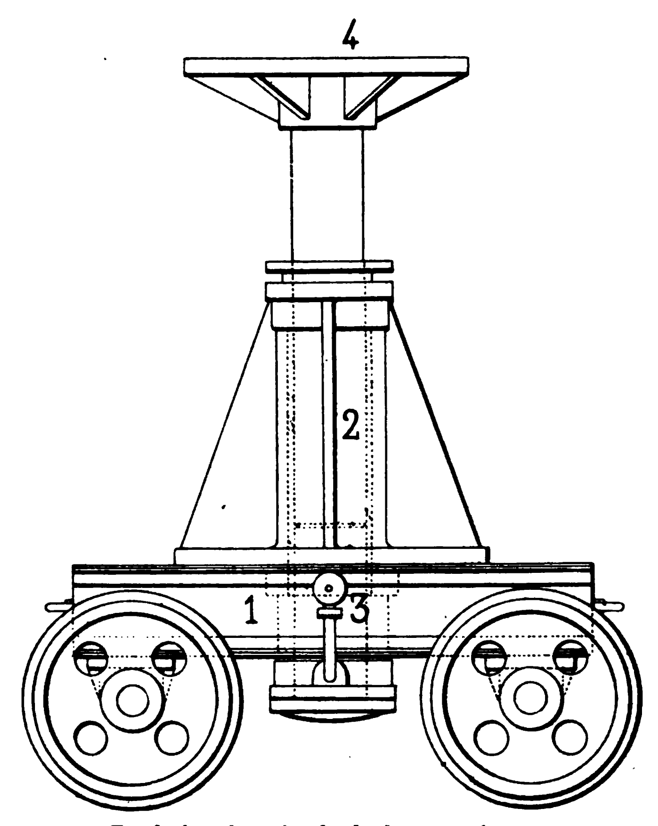
REMPLACEMENT D'UN FOND

Démolition d'un fond hors service. — Le remplacement d'un fond est une opération minutieuse de toute importance. Le convertisseur est couché de manière que la plaque-support du fond soit verticale ; en prenant appui sur une potence placée à l'arrière de la cornue, on retire la plaque de fond de la boîte à vent, on décale la plaque-support après avoir enlevé les corbeaux qui la soutenaient. On suspend à la potence une barre d'acier ronde, de 8 à 10 centimètres de diamètre et de 3 mètres de longueur, qui servira de mouton ; elle se manœuvre au moyen de cordes fixées en son milieu, pendant qu'un homme en dirige la tête et fait porter le coup à l'endroit voulu. La plaque-support est décollée de son garnissage par des coups de mouton frappés alternativement à droite et à gauche ; dès qu'elle tend à s'échapper, on redresse légèrement la cornue ; la plaque glisse, se dégage et vient porter sur le rebord du plancher ; on passe dans les trous des crochets suspendus à des moufles, et on la descend à terre. On la laisse parfois tomber simplement sur de vieux bois qui amortissent sa chute, mais on risque de la casser et de causer des accidents.

On attaque ensuite les restes du fond, en commençant par la région la plus usée jusqu'à ce qu'elle soit défoncée. Le travail devient alors plus facile ; on relève la cornue de temps en temps, pour faire tomber les débris. On nettoie l'emplacement de l'ancien joint en mettant la brique à nu ; on la dégrade au besoin si elle a été rongée, pour qu'il n'y demeure ni scorie ni métal. C'est une opération pénible, car l'ouvrier qui tient la pince est exposé au rayonnement du garnissage encore rouge ; il importe néanmoins d'en hâter l'exécution, pour que la température conserve au moins encore le rouge sombre lorsqu'on placera le nouveau fond.

Préparation et pose du fond. — Pour ne pas perdre de temps, on a préalablement préparé le fond neuf : on l'a sorti chaud de l'étuve courante, ou on l'a choisi parmi les fonds cuits refroidis, si l'on se sert d'étuves dormantes. On abat les étriers accrochant le couvercle, qui est enlevé, et on place le fond sur des tréteaux en fer pour déboucher les tuyères. Au moyen de longues aiguilles carrées

en acier dur, portant un manche court recourbé à angle droit sur la tête duquel on peut frapper au marteau, on chasse les cylindres de bois carbonisé qui, pendant la cuisson, ont conservé leur forme primitive. Quand le débouchage est difficile, la section carrée de l'aiguille permet de l'employer comme un foret ou un alésoir. Si le fond



Truck de calage des fonds de convertisseurs.
1. Châssis du truck. — 2. Cylindre hydraulique. — 3. Bride de raccord du tuyau d'eau sous pression. — 4. Sommier recevant la plaque-support de fond.

est encore très chaud, les ouvriers se protègent en disposant des tôles recouvertes de vieilles planches, sur lesquelles ils peuvent poser les pieds.

L'exécution d'un joint coulé nécessite l'introduction dans le convertisseur, sur le fond même, d'un mélange très clair de dolomie et de goudron, qui s'écoulerait par les tuyères si celles-ci n'étaient momentanément obturées. On ferme chacune d'elles à l'extrémité supé-

rieure par un tampon d'argile long de 5 centimètres, dont on aplatit la tête comme un rivet; ces tampons n'adhèrent aucunement à la dolomie, et on les chasse aisément dans la suite.

Le manteau est alors enlevé, et le fond placé sur l'appareil porteur qui l'amène sous le convertisseur. Comme le coulis basique constituant le joint pourrait s'infiltrer entre le cercle de la cuirasse servant de butée à la plaque-support et la couronne d'appui de cette plaque, on garnit la base du fond d'une couronne d'argile humide s'appuyant sur le rebord de la plaque-support. Cette argile formera un joint étanche pour la cuvette annulaire constituant l'emplacement du joint.

L'élévation du fond jusque dans la cornue se fait au moyen d'un cylindre hydraulique, qui le coïnce dans son logement. Dans les premières installations d'aciéries, chaque cornue possédait un cylindre hydraulique fixe, logé dans le sol suivant l'axe vertical de la boîte à vent. La tête du piston, terminée par un large sommier, était recouverte en temps normal d'une tôle qui la protégeait contre les chutes de décombres ou de scories. Le fond, placé sur un truck, était amené sous la cornue, juste au-dessus du cylindre hydraulique, qui élevait alors simultanément fond et truck.

On préfère actuellement monter le cylindre hydraulique sur le truck porteur lui-même; l'alimentation se fait au moyen d'un raccord flexible qu'on branche sur la canalisation; un seul appareil suffit ainsi, son entretien est plus facile et de fonctionnement plus sûr. Quand on a centré exactement la plaque-support par rapport à la boîte à vent, on donne toute la pression; le fond est énergiquement coïncé; la couronne d'argile, écrasée entre la cuirasse et le rebord du fond, forme un joint étanche. Les corbeaux sont enfoncés dans la boîte à vent, et le fond calé avec des coins en acier.

Exécution du joint. — Le mélange basique constituant le joint coulé doit être riche en goudron, et s'infiltrer sans laisser de cavités dans l'espace annulaire qui entoure le fond. On le prépare au moment de l'employer, dans une caisse en tôle munie d'un bec, montée sur un truck, et pouvant basculer en avant pour être vidée dans la trémie à chaux. On y verse d'abord le goudron, que l'on chauffe à 120° environ, au moyen d'un peu de bois ou d'un brasero placé audessous. La dolomie, de très bonne qualité, finement moulue, a été préalablement humectée de goudron, mais non malaxée à la meule, ce qui formerait des agglomérations; elle a donc l'aspect d'une pous-

sière noire grossière. On la jette par petites portions dans le goudron constamment agité avec un crochet, en continuant le brassage jusqu'au moment de l'emploi, afin que la dolomie ne se dépose pas au fond de la caisse.

Quand le fond est assujetti dans la boîte à vent, on oriente le convertisseur comme pour charger la chaux; la caisse contenant le coulis est amenée près de la trémie et vidée brusquement. Comme une explosion se produit parfois dans la panse au moment de l'inflammation du goudron, il est prudent d'opérer le basculement de la caisse au moyen de longs crochets. La cornue est ensuite inclinée deux ou trois fois en avant et en arrière, pour que le coulis pénètre complètement dans le joint sans y laisser de soufflures, puis elle est placée verticalement, et maintenue immobile pendant trois ou quatre heures. On s'assure aussitôt que le goudron ne filtre pas sous la plaque-support et on bouche avec de l'argile les fuites qui se présenteraient.

Le goudron, en contact avec les parois chaudes du garnissage, a acquis une grande liquidité qui assure le remplissage exact du joint. Il se décompose peu à peu, donnant des produits de plus en plus riches en carbone fixe; des fumées jaunâtres ou vertes sortent de la cornue. Lorsque tout s'éteint, le joint est suffisamment cuit.

La température de la cornue au moment de la coulée du joint possède une grande importance: trop élevée, elle décompose rapidement le goudron, en fait distiller une partie, ne laissant que le carbone fixe, privé de ses propriétés adhésives ; le joint sera en outre soufflé, si les vapeurs ne trouvent pas d'issues suffisantes; — trop faible, elle produit une cuisson incomplète; des huiles lourdes se dégagent encore quand la cornue est mise en service et fortement chauffée; la dolomie reste sans consistance, et de grosses soufflures se forment, d'autant plus dangereuses que leurs parois sont friables.

Après cuisson, on peut sans danger coucher la cornue; si l'intérieur est noir, on le réchauffe avec quelques bûches de bois sec. On débouche ensuite les tuyères en enlevant le goudron qui aurait pu y pénétrer, au moyen des aiguilles d'acier qui ont servi à repousser le résidu charbonneux des baguettes de bois. La plaque de fond étant verticale, deux hommes, procédant avec ordre pour ne pas oublier de tuyère, enfoncent d'abord l'aiguille à fond pour chasser le tampon d'argile, en frappant s'il y a lieu sur la tête de l'aiguille; puis ils alèsent le trou jusqu'à ce que des fumées jaunes s'échappent par

l'orifice de la plaque de fond; ces fumées proviennent de la couche de goudron qui reste sur le fond, et témoignent que la communication est établie. Si quelques trous ne peuvent être débouchés, on les laisse tels ; on obture d'ailleurs intentionnellement la couronne extérieure de tuyères sur la région correspondant à la panse, pour augmenter légèrement la capacité de la cornue lorsqu'elle est couchée, et empêcher l'usure du joint en ce point, où elle serait particulièrement dangereuse.

Si les fonds ont été mal cuits dans les étuves, il est difficile de déboucher les tuyères, qui se sont garnies de graphite, par suite de la décomposition des hydrocarbures existant encore dans la masse; ces fonds produisent d'abondantes fumées jaunâtres, qui se dégagent même avant le débouchage des trous.

La plaque de boîte à vent étant posée, on laisse ouvert le regard qui y est pratiqué, jusqu'au moment où la cornue entre en service; les gaz combustibles qui prennent naissance dans l'intérieur, soit par distillation du goudron, soit par combustion incomplète du coke d'entretien, trouvent ainsi une issue avant que leur accumulation puisse former un mélange détonant dangereux.

La cornue est alors remplie de coke, qui maintiendra une température interne voisine du rouge sombre; on en charge 1.600 kilogrammes dans une cornue de 12 tonnes. L'allumage s'effectue spontanément au contact des parois chaudes, et, s'il y a lieu, par quelques bûches de bois.

Réparations accessoires lors de la pose d'un fond. — On profite de l'arrêt qu'entraîne le remplacement d'un fond pour faire des réparations au garnissage. Si le briquetage de la partie inférieure est endommagé, on le regarnit après défoncement du vieux fond, par l'intérieur de la boîte à vent.

Mais c'est particulièrement le bec qu'il convient de remettre à neuf. Les projections qui s'échappent du bain atteignent le revêtement, près du bec, à la panse et au dos; sur la panse, elles ne subsistent pas en raison du surplomb de cette partie de la cornue, et seraient en tout cas refondues quand on abaisse le convertisseur. Les côtés et le dos, sans cesse émergents, se garnissent au contraire de métal et de scorie, d'autant plus que la fonte est plus froide; il n'est pas rare de voir des loups de bec pesant 2.000 kilogrammes. Les enfoncer en marche normale est une opération délicate, car leur fusion refroidit énergiquement la coulée dans laquelle ils tombent;

leur arrachement entraîne souvent aussi une partie des briques et du pisé.

On s'en débarrasse généralement lors des changements de fond, après le chargement du coke. On attaque le loup à la pince, pour couper les bavures qui le retiennent, puis on le frappe au mouton jusqu'à ce qu'il se détache et tombe sur le coke.

Le bec de la cornue, particulièrement la partie qui forme déversoir, se prépare avec les mêmes matériaux que ceux qui ont servi à sa construction; on conserve la majeure partie de ce qui subsiste de l'ancien garnissage, car il présente une résistance plus grande que celui que l'on va établir.

Fonds à tuyères rapportées. — On emploie quelquefois, pour les fonds en matériaux basiques, des tuyères rapportées analogues à celles qui servent pour les fonds silico alumineux ; le fond est damé à la main, autour de manchons fixés sur la plaque-support, ayant la même forme extérieure que les tuyères, et, après cuisson, ces manchons sont enlevés comme le manteau.

Les tuyères sont des troncs de cône percés de trous rapprochés, disposés en couronnes (7 ou 9 trous de 15 à 17 millimètres par tuyère); elles sont en magnésie pure fortement comprimée et cuite. On les enfonce à force dans le fond cuit, jusqu'à ce que leur base arrière affleure le niveau de la plaque-support ; leur forme conique suffit à les maintenir en place par la pression du vent. On les cale d'ailleurs dans leur logement avec une collerette qui les y presse, et que l'on fixe sur la plaque de fonte par des agrafes boulonnées. Le joint entre la tuyère et le fond, aussi faible que possible, est bourré de magnésie frittée finement tamisée et humectée de goudron.

Les tuyères en magnésie s'usent très lentement, et le fond lui-même se conserve mieux. Quand une tuyère se détériore ou se casse, il est facile de la remplacer; on dévisse la collerette, on enfonce les fragments subsistants à coups de pince, et on pose une tuyère neuve ; on la cale avec précaution, en faisant à l'arrière un joint d'argile qui obture l'espace annulaire, et empêche le passage du vent entre le fond et le cône ; enfin on replace la collerette.

C'est aussi par le bec, en suivant le procédé ordinaire, qu'on répare les régions du fond situées entre les logements des tuyères : des boulettes de dolomie goudronnée bien grasse soudent entre elles la magnésie et la dolomie.

Les tuyères en magnésie sont coûteuses et très fragiles ; on ne les

utilise guère que lorsqu'on cherche à augmenter la durée des fonds et à restreindre la fréquence des changements de cornue. Leur emploi est indiqué lorsqu'on veut éviter l'établissement d'une cornue supplémentaire, ou que la faible production journalière de l'aciérie ne justifie pas l'existence de deux équipes préposées au remplacement des fonds. Un fond avec tuyères en magnésie bien entretenu supporte 70 à 80 coulées, de sorte que le garnissage n'use pas plus de deux fonds.

Entretien des convertisseurs au repos. — Un convertisseur au repos doit être maintenu à la température du rouge sombre, au moins dans la région qui sera en contact avec le bain, sinon le revêtement serait notablement détérioré par les effets de contraction et de dilatation produits par un refroidissement et un réchauffage consécutifs. La cornue étant couchée horizontalement, la plaque de fond de la boîte à vent mise en place, la panse reste remplie de coke incandescent ; chaque jour on réchauffe l'appareil en donnant le vent pendant quelques minutes, à faible pression : la cendre pulvérulente est expulsée, et les fragments de coke reprennent une combustion plus vive ; la flamme qui s'échappe réchauffe le bec. S'il y a lieu, on recharge un ou deux wagonnets de coke neuf en remplacement de celui qui a été brûlé.

Mise en service. — Pour la mise en service, le garnissage doit être réchauffé à une température voisine de celle de la marche normale. On lance le vent sur le coke, le convertisseur étant redressé dans la position de soufflage, de sorte qu'on atteint, en 20 à 25 minutes, le rouge cerise clair. Les cendres du coke se scorifient aux dépens de la chaux et des déchets métalliques que l'on a chargés au bec pendant le repos ; cette scorie et le coke non consumé sont versés dans une cuve à crasse. On détache par des balancements répétés les fragments qui adhèrent aux parois, et on expulse l'oxyde de carbone remplissant la panse au moyen de deux ou trois coups de vent successifs, pendant que la cornue reste le bec en bas. Si un fragment du loup est trop considérable pour pouvoir passer par le bec, on évalue approximativement son poids, et, dès le chargement de la fonte, on fait les additions silico manganésées convenables, qui restitueront au bain la chaleur qu'absorbera sa fusion.

La première opération faite sur un garnissage qui vient d'être réchauffé demande à être particulièrement soignée : on tiendra

compte, pour la proportion de chaux, de ce que la température apparente de la cornue n'est que superficielle, et on fera, pendant le soufflage, des additions manganésées supplémentaires.

Quand le loup est trop considérable, et la fonte pas assez chaude pour qu'on puisse espérer le refondre à la première coulée, on sacrifie 800 à 1.000 kilogrammes de fonte, qu'on charge et qu'on souffle jusqu'à fusion complète du loup; la scorie est coulée dans une cuve vide et repassée au fourneau.

Les cuves à crasse où l'on a versé le coke de réchauffage sont mises de côté; on arrose le coke à la lance ou bien on le laisse s'éteindre spontanément. On en retire ensuite un combustible à demi brûlé, encrassé, qu'on emploie pour chauffer les étuves ou les dames en fer destinées à la construction des pisés.

DURÉE DES GARNISSAGES

La durée du garnissage des convertisseurs dépend de la qualité des matières premières, des soins apportés à leur mise en œuvre, et des conditions dans lesquelles on les emploie; les économies que l'on tenterait de faire sur la dolomie ou le goudron seraient le plus souvent désastreuses, à cause des insuccès qui résultent de l'utilisation de produits de second choix. Les maçons sont loin d'être tous capables d'exécuter convenablement un garnissage; il est bon de s'attacher un personnel consciencieux et expérimenté, même s'il doit en résulter quelque augmentation des salaires.

La qualité de la fonte, de la chaux, de l'acier, le mode opératoire sont autant de facteurs qui font varier la durée des revêtements. Les fontes silicieuses rongent la dolomie, parce que l'oxydation du silicium se produit avant que la chaux ne soit en état de se scorifier rapidement. La corrosion est d'autant plus profonde que la température du bain s'élève davantage; à ce point de vue, les additions métalliques froides sont d'un grand secours. L'emploi d'une chaux de mauvaise qualité, lente à se dissoudre, produit le même effet qu'une quantité de chaux insuffisante : le revêtement se substitue à elle, pendant la déphosphoration, d'autant que dans ces conditions la température dépasse la normale.

Une marche rapide de l'aciérie favorise la bonne conservation

des garnissages, qui sont alors soumis, entre deux opérations, à des écarts de température peu considérables. Les longs arrêts leur sont funestes, surtout si l'atmosphère est humide.

Le premier fond d'un garnissage a toujours une durée moindre que les suivants : la surface du bain est plus faible, son épaisseur plus considérable; le profil du revêtement n'est pas encore modelé par les courants de métal qui suivent les parois et frappent le fond avec violence ; enfin, le joint damé est beaucoup moins résistant que le joint coulé. Quant au dernier fond, sa durée est quelquefois réduite par l'usure de la cornue ; il n'est pas avantageux de poser un fond neuf sur un garnissage déjà presque usé, si on n'estime pas ce dernier capable de supporter encore dix coulées au moins ; — ou bien, on y pose un fond d'épaisseur réduite, coûtant par suite moins cher.

On atténue l'usure des fonds en diminuant la section des tuyères, mais il faut alors augmenter la pression du vent. Les fonds à tuyères rapportées durent très longtemps, si on a soin de remplacer à temps les tuyères usées.

Un premier fond dans un garnissage neuf fait de 25 à 30 coulées; les suivants, 35 à 40, quand la fonte reste blanche, et que la chaux est de bonne qualité. Le garnissage dure 4 fonds, soit 135 à 150 coulées; une marche rapide avec de faibles charges permet d'atteindre 200 coulées.

Une aciérie Thomas travaillant d'une façon ininterrompue doit disposer de trois convertisseurs : un en service, le second prêt, le troisième en réparation. Une quatrième cornue permet d'avoir constamment deux appareils en marche : pendant que l'un est en soufflage, l'autre effectue le décrassage, la coulée en poche et le chargement de l'opération suivante.

CHAPITRE IX

GARNISSAGES ACIDES

MATÉRIAUX ACIDES

Matières acides. — Le revêtement du convertisseur acide doit pouvoir résister à l'action chimique de la scorie qui prend naissance pendant l'affinage; celle-ci, fortement siliceuse, renferme en outre du fer et du manganèse à l'état d'oxydes. Le garnissage étant constitué en entier par une substance siliceuse, le fond, qui durant toute l'opération est exposé aux atteintes de l'oxyde de fer formé au nez des tuyères, s'usera assez rapidement. Les parois du convertisseur, au contraire, ne sont touchées par l'oxyde de fer qu'après sa scorification; comme la scorie est elle-même siliceuse, l'usure est bien plus lente que celle du fond; les parois se garnissent même d'une couche de crasse ferrugineuse peu fusible, et conservent cette enveloppe protectrice pendant des centaines de coulées, à moins qu'un accident particulier ne la détruise.

C'est pourquoi deux convertisseurs acides suffisent parfaitement pour une marche continue, alors qu'il en faut trois basiques; on peut opérer très longtemps sur le même garnissage, en remplaçant le fond ou les tuyères.

A l'origine, pour établir ce revêtement sans avoir à fabriquer des briques, on employait des blocs de micaschistes fortement siliceux, qu'on taillait soigneusement, et qu'on posait avec un coulis réfractaire de quartz pilé et d'argile pure. Mais, outre qu'on rencontre rarement des blocs convenables de grandes dimensions, le taillage nécessite une main-d'œuvre coûteuse, et, malgré tous les soins que l'on prend, on n'est jamais sûr qu'il ne se produise pas d'infiltrations de métal à travers la maçonnerie.

Dans toutes les constructions effectuées avec des produits siliceux, particulièrement avec des produits naturels, il y a lieu de ménager des vides pour la dilatation, qui serait assez puissante pour faire sauter les enveloppes métalliques. Quand on maçonne en matériaux naturels, on laisse entre la cuirasse et la maçonnerie un espace libre garni de paille ou de bois, qui s'écrasent ensuite quand la dilatation s'effectue.

Produits siliceux. — Il est préférable de broyer des produits naturels convenablement triés, puis de les agglomérer en briques ou en pisé cuit dans la cornue elle-même.

C'est le quartz qui est le plus employé : on le rencontre, dans de nombreux gisements, à l'état presque pur (920/0 de silice au moins). On le prépare de la même manière, avec les mêmes agglomérants, que pour faire les briques de silice.

Les aciéries anglaises ont employé avec succès des sables siliceux, connus autrefois sous le nom de *ganisters*, dont les gisements les plus importants sont aux environs de Scheffield. Etant légèrement alumineux, ces sables s'agglomèrent d'eux-mêmes sans que l'on ait besoin de leur incorporer un liant quelconque, ce qui est un avantage sensible, car un mélange artificiel est, à composition équivalente, plus fusible qu'un produit naturel.

Le terme de ganister désigne actuellement diverses roches siliceuses légèrement alumineuses, bien que n'étant pas de même nature que les sables précédents ; les céramistes désignent aussi par ce mot les produits artificiels qu'ils fabriquent dans le but de remplacer ces sables naturels.

On fait généralement, comme pour le convertisseur basique, la majeure partie du garnissage en briques ; elles sont rarement fabriquées sur place, car elles sont cuites, au même titre que des briques pour cubilots ou pour fours à sole. La consommation relativement faible de matériaux siliceux ne justifierait pas l'existence d'une installation complète pour la fabrication et la cuisson de ces briques à l'usine même ; on établit seulement des appareils de malaxage et de broyage pour la confection des fonds et du pisé.

PRÉPARATION DES MATÉRIAUX ACIDES

Triage. — Broyage. — Le quartz ou le ganister sont, au sortir de la mine, triés et classés, après un grossier concassage ; on ne conserve que les fragments translucides ou blancs, formés de silice presque pure. On emploie des broyeurs concasseurs avec cylindres cannelés en fonte trempée, ou, pour les gros blocs, des concasseurs à mâchoires. L'aciérie reçoit généralement le quartz déjà concassé ; il reste à le broyer en morceaux de grosseurs diverses, de 3 centimètres de côté au plus. On se sert pour cela de broyeurs à boulets garnis intérieurement de blocs de quartz dur taillés, et disposés de manière à servir en même temps de tamis ; les boulets sont en fonte blanche trempée. Un dernier tamisage est nécessaire pour séparer complètement la poussière, que l'on réserve pour la fabrication du coulis réfractaire et du mortier.

Tous ces matériaux sont classés suivant leur grosseur et leur qualité ; on doit les conserver à l'abri des poussières, des scories et de toute matière étrangère, qui en diminueraient la valeur.

Agglomérants. — La matière plastique qui sert à agglomérer les grains et fragments de silice est toujours de l'argile très réfractaire, comme celle qui sert pour les pots de verrerie ; c'est un silicate alumineux presque pur, contenant très peu de corps étrangers. On la réduit en fine poussière, afin de pouvoir la mélanger ensuite convenablement aux fragments siliceux.

On peut remplacer l'argile réfractaire par des sables gras, semblables à ceux dont on fait usage dans les fonderies d'acier ; ils s'agglomèrent à la cuisson, et prennent une légère dureté ; mais, leur pouvoir agglutinant étant moindre que celui de l'argile, on doit en employer davantage dans le mélange. Ils sont généralement constitués par deux éléments, qu'on peut presque séparer par simple décantation : sable siliceux et argile à peu près pure. On ne peut pas en charger le mélange d'une trop grande proportion, car leur retrait à la cuisson est assez considérable.

Malaxage. — La préparation du pisé demande un dosage régulier des matières constituantes : on l'effectue au volume; si, après un mélange grossier, la pâte semble trop peu liante, on ajoute un supplément d'argile finement broyée. On laisse ensuite la masse pourrir pendant quelques jours ; la pénétration de l'argile par l'eau est alors bien plus profonde, l'agglomération plus intime, moins superficielle, ce qui permet de réduire la proportion d'agglomérant qui serait nécessaire si on employait immédiatement le mélange.

Le pourrissage s'effectue dans des fosses, où les matières, jetées à la pelle, sont disposées en couches minces et uniformes, puis abandonnées à l'action de l'eau, de manière qu'une nappe liquide en recouvre la surface; le silicate d'alumine fixe, outre les molécules d'eau de constitution, une nouvelle quantité d'eau qui augmente sa plasticité. Après pourrissage, la masse onctueuse et grasse est reprise et mélangée avec des fragments siliceux, de la même manière qu'on obtient le béton avec du mortier et du gravier.

Le malaxage s'exécute soit à la pelle, soit avec des malaxeurs verticaux à ailettes, qui donnent un produit final régulier, presque sec, dur et rugueux. La dureté des matières qu'il traite use rapidement cet appareil, surtout au voisinage du fond; on peut le protéger en le garnissant de blocs ou de briques taillés, enchâssés dans une cuirasse métallique ; quand ce garnissage est trop usé, on le remplace, sans mettre l'appareil hors service.

Composition des mortiers acides. — La composition des briques cuites qui constituent les garnissages acides varie entre les chiffres suivants :

SiO^2	89 à 91 0/0
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$	8 à 10 0/0
$CaO + MgO$	0,5 à 1 0/0
Alcalis	Traces

Le quartz qui sert à la confection du mortier renferme :

SiO^2	93 à 95,5 0/0
Al^2O^3	1,6 à 3 0/0
Fe^2O^3	0,5 à 0,8 0/0
$CaO + MgO$	1,5 à 2,5 0/0
Alcalis	0,2 à 0,4 0/0

Le ganister naturel, plus alumineux, s'agglomère seul, ou nécessite une plus faible addition d'argile réfractaire :

SiO^2	89,0 0/0
Al^2O^3	5,2 0/0
Fe^2O^3	0,8 0/0
CaO + MgO	0,7 0/0
Alcalis	1,0 0/0
H^2O	3,0 0/0

S'il est plus siliceux, il se rapproche du quartz broyé, mais exige plus d'agglomérant.

La composition du mélange varie suivant les emplois auxquels on le destine ; pour les parties peu soumises à des efforts et devant résister surtout à une haute température, on emploie moins d'argile que pour les fonds, par exemple, qui doivent présenter plus de résistance mécanique que les parois de la cornue. Les tuyères rapportées sont faites avec des mélanges franchement alumineux, qui leur procurent beaucoup de cohésion et de solidité.

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE GARNISSAGES ACIDES

	GARNISSAGE LATÉRAL			FONDS A TUYÈRES		FONDS A TROUS		TUYÈRES	
SiO^2 0/0	84	90	88	89	86	68	80	58	70
Al^2O^3 0/0	14	8,5	10,5	7	9,5	28	17	38	26
Fe^2O^3 0/0	1	0,5	1	3	3	3	2	2,5	3
(CaO + MgO) 0/0	1	1	0,6	1	1,5	1	1	1,5	1

COMPOSITION EN POIDS DES MÉLANGES POUR GARNISSAGES ACIDES

	GARNISSAGE LATÉRAL				FONDS DE CONVERTISSEURS				
Quartz	55				50		60		
Ganister	38		60	94	37	67			
Terre réfractaire grasse	7	20	5	6	13	33	40	50	33
Quartz fin		40							33
Quartz en noix		40	35						
Briques broyées ou chamotte								50	34

FABRICATION DES FONDS DE CONVERTISSEURS ACIDES

Fonds plats solidaires de la boîte à vent. — Les fonds sont fabriqués différemment, suivant leur mode de liaison avec le convertisseur, et suivant qu'ils sont, ou non, solidaires de la boîte à vent. Dans le premier cas, la cuirasse forme une cuvette en tôle qui sert de moule pour le damage du fond ; ce dernier ne peut pas alors être cuit dans des étuves, ce qui en brûlerait les armatures : il est séché sous une hotte à gaz.

Dans le procédé basique, on pratique le plus souvent les trous de soufflage dans la masse même du fond, car, malgré la longue durée des tuyères en magnésie, leur emploi est restreint. Pour les fonds acides, au contraire, les tuyères rapportées en argile siliceuse sont beaucoup plus résistantes que les tuyères faisant partie intégrante du fond ; aussi sont-elles d'un usage presque général. Comme on ne dispose que de deux cornues acides pour une marche continue avec un convertisseur, on a tout intérêt à rendre aussi rares que possible les changements de fond, qui provoquent toujours un refroidissement du garnissage, et des contractions suivies de dilatations qui lui sont défavorables.

Les fonds fixés à la boîte à vent, ou fonds plats, sont construits d'ordinaire en briques cuites ; ils sont ainsi plus durs, sèchent rapidement, immobilisent relativement peu de matériel pour leur fabrication. Les briques en occupent tantôt toute la surface en ne laissant que les trous nécessaires pour les tuyères, tantôt une partie seulement de cette surface, servant alors simplement de liaison entre les diverses couches de mortier damé, et diminuant le retrait pendant le séchage. Quand on opère avec des briques de formes spéciales, la construction est très rapide ; des mandrins en bois occupent les emplacements des tuyères ; on maçonne autour d'eux, en faisant les joints avec un coulis argileux bien clair, et on remplace ensuite les mandrins par les tuyères cuites. Quand on se sert de briques rectangulaires, on enduit les mandrins de terre fine et sèche, pour qu'ils n'adhèrent pas au mortier, et on dame fortement le remplissage siliceux entre eux et les briques ; il faut éviter que le mortier ne se trouve isolé en masses assez épaisses, dans lesquelles se produiraient des fissures.

Cuisson des fonds plats. — Pour le séchage au gaz, on envoie du gaz de gazogène dans un chalumeau, à la partie supérieure d'une hotte, en dessous de laquelle est amené le chariot porteur du fond; une vanne permet de régler le débit du gaz. Les tuyères du fond n'étant pas en place, leurs logements constituent autant de cheminées d'appel pour les fumées; elles s'échappent, par la base, dans une seconde hotte, qui est accrochée à l'armature du fond et qui se trouve en relation avec une cheminée. On donne d'abord une faible chaleur, de manière que le départ de l'eau soit lent; on augmente ensuite la rapidité du séchage, jusqu'à ce que la température de la surface du fond atteigne 400° : la dessiccation est alors complète. On maintient cette température jusqu'au moment de la pose du fond dans le convertisseur, car le refroidissement y ferait naître des fissures. On peut ne mettre les tuyères en place qu'une fois le fond posé dans la cornue, ou bien auparavant pour gagner un peu de temps.

Le séchage dure ainsi vingt-quatre à quarante-huit heures; on doit toujours avoir un fond à température suffisante prêt à être posé, tout en évitant de le conserver ainsi plusieurs jours à haute température. Le chalumeau à gaz peut être remplacé par un foyer soufflé à la vapeur, dont les gaz sont amenés sur la surface supérieure du fond.

Fonds coniques indépendants de la boîte à vent. — Ces fonds sont construits sur une plaque-support en fonte, munie d'oreilles qui permettent de la soutenir et de la caler à l'intérieur de la boîte à vent contre la couronne qui soutient le garnissage ; les oreilles sont donc la seule différence qu'ils présentent avec les fonds basiques. On les confectionne à l'intérieur d'un moule ou manteau en fonte dans lequel ils sont damés à la main; de longues briques cuites renflées aux extrémités comme une double queue d'aronde, disposées entre les tuyères, donnent de la résistance au mélange argileux presque sec dont on les enveloppe, et qu'on pilonne fortement par couches minces avec d'étroites dames en fer. Les mandrins des tuyères sont fixés à la plaque-support ; on les retire par le bas, après damage, puis le fond, placé sur un chariot, est amené à l'étuve.

Les étuves sont ordinairement courantes, avec chauffage progressif; elles ressemblent à celles des fonds basiques ; un treuil et une chaîne servent à la traction des chariots dans la galerie de chauffe. La température atteint le rouge naissant au voisinage des foyers; au moment même où l'on a besoin d'un fond, on ouvre la porte

d'avant et on retire un truck; toute la rame se trouve avancée, laissant en arrière un espace libre pour un nouveau fond. On doit avoir deux étuves au moins en service pour un groupe de deux convertisseurs; chacune d'elles renferme de 6 à 8 fonds.

Fonds à tuyères réservées. — Ils sont damés comme les précédents, mais complètement en pâte, sans interposition de briques. On peut employer une machine à damer comme pour les fonds basiques, mais on opère souvent à la main; on ménage les trous au moyen d'aiguilles en fer, montées sur un plateau-guide supérieur et sur la plaque de fond; on retire le guide dès que les aiguilles sont suffisamment maintenues par les premières couches de damage.

Il n'est pas nécessaire, pour la cuisson, de placer des baguettes en bois dans les trous : la terre argileuse est assez sèche, pour qu'elle ne risque pas d'obstruer les espaces vides; en raison du grand nombre de trous qui traversent la masse, la cuisson est bien plus uniforme que celle des fonds à tuyères rapportées.

Tuyères rapportées. — Les tuyères rapportées sont habituellement au nombre de 19, disposées en trois rangées concentriques; grâce à leur forme extérieure conique, on les peut retirer facilement, tandis que la pression du vent tend toujours à les enfoncer davantage; la pièce de retenue dont leur pied est muni ne sert à les maintenir que pendant la pose. Elles sont percées de 9 trous parallèles, de $9^{mm},5$ à 13 millimètres de diamètre; des trous de petite dimension aident à la conservation de la tuyère, car la pression du vent, plus forte, éloigne le métal de leur extrémité. Leur hauteur varie entre 50 et 70 centimètres.

Les fabricants de produits réfractaires vendent les tuyères cuites et prêtes à être employées. Leur surface externe est généralement cannelée pour accroître l'adhésion du coulis réfractaire dont on les enduit et qui forme joint hermétique avec le fond. On peut également mettre ces tuyères en place pendant que l'on dame le fond, auquel elles adhèrent alors plus fortement; mais leur remplacement en cours de marche devient difficile : le vide que laisse la tuyère usée est trop faible pour une tuyère neuve. Les tuyères ainsi posées d'avance se fendent souvent pendant la cuisson : le retrait du fond les écrase. Il est donc préférable de ne les mettre en place qu'après la pose du fond; on les y enfonce complètement, en les maintenant sur la plaque-support par une collerette annulaire en fonte, appuyée sur le bord de

la tuyère, et maintenue par des agrafes boulonnées sur la plaque.

Ces tuyères sont fragiles ; on doit les conserver à l'abri de l'humidité, sinon une brusque élévation de température ne manquerait pas de les fissurer.

CONSTRUCTION DES GARNISSAGES ACIDES

Les convertisseurs primitifs étaient démontables, de sorte que la construction du garnissage avait lieu dans un atelier spécial. On ne tarda pas à les maçonner entièrement sur place, et c'est ce que l'on fait toujours actuellement.

Lorsque le fond fait partie de la boîte à vent, son joint avec le garnissage étant horizontal et extérieur à cette boîte, on doit, pour établir le revêtement, maintenir la cornue le bec en bas, car rien ne supporterait les assises inférieures avant la cuisson ; on pose ensuite le fond, en damant le joint extérieurement, puis on retourne l'appareil pour le chauffer.

En rendant les fonds complètement indépendants de la boîte à vent, on a réalisé un progrès considérable ; ce dispositif est maintenant adopté presque partout, surtout pour les fonds basiques qu'il est indispensable de cuire à haute température avant de les mettre en place. La boîte à vent fait partie de la cornue ; elle n'est détériorée ni par le transport, ni surtout par le chauffage ; enfin le joint fait à l'intérieur de la boîte à vent n'est pas exposé à la différence des pressions intérieure et atmosphérique.

Construction du garnissage latéral. — Le garnissage est en briques cuites de 12 à 15 centimètres de hauteur à parois latérales convergentes suivant le rayon ; leur épaisseur radiale est de 40 centimètres. Pour éviter tout taillage, on a au moins deux modèles de briques à rayons de courbure différents. On laisse entre elles et la tôle un espace libre qu'on remplit ensuite de mortier réfractaire et de déchets de briques ; sur la tôle même, on dispose une couche de paille ou des lattes de bois minces, qui se comprimeront lors de la dilatation du revêtement pendant le chauffage, sans distendre outre mesure la cuirasse. Les briques sont hourdées avec un coulis clair de quartz finement pulvérisé, mélangé de terre réfractaire argileuse lui donnant le liant nécessaire, et tamisé avant l'emploi. Derrière les

briques, on met un mortier épais, de moindre qualité, car il sert simplement de calage et n'a pas à subir l'action du bain. La construction en briques se fait après celle de la panse et le bec en bas, pour une cornue à fond plat, et de la façon ordinaire pour un convertisseur à fond conique.

On remplace quelquefois les briques, pour la partie cylindrique de la cornue, par un mortier très siliceux et peu humide, soigneusement damé sur les parois ; sa consistance permet de le monter sans gabarit, sauf pour la partie conique, où il serait difficile de conserver une épaisseur uniforme. Quel que soit le système de fond, la construction est faite le bec en bas.

Construction de la panse et du bec. — La panse est presque toujours revêtue de mortier damé, qu'on pilonne sur un gabarit en tôle: la dureté des couches superficielles est ainsi plus considérable, et l'on peut employer du mortier plus sec, à moindre proportion d'argile. Le mortier malaxé est battu et marché, puis découpé en blocs de 25 kilogrammes que l'on élève jusqu'au niveau des maçons; ceux-ci les jettent sur la dernière couche, puis derrière eux les dameurs les frappent avec des masses en bois, qui donnent une pression plus uniforme et collent moins que les dames en fer.

Quand la partie inférieure d'un convertisseur à fond conique est construite en briques, on appuie le gabarit démontable sur un ressaut de la dernière assise, rendue bien horizontale, et on le cale pour obtenir l'épaisseur voulue à la panse et au bec. L'élévation des matériaux se fait d'abord par l'intérieur, avec une poulie et une corde au centre de la cornue ; les maçons travaillent sur un échafaudage annulaire monté par planchers successifs distants de 75 à 80 centimètres et reposant sur des chandelles sur lesquelles ils sont cloués. Quand on atteint la panse et le bec, on incline le convertisseur de manière que les sections droites du cône deviennent horizontales ; c'est alors par le bec qu'on descend les matériaux aux maçons.

Le bec est garni de briques cuites taillées en coin, ayant la courbure de la cuirasse et lui restant toujours normales ; la région qui avoisine la panse, par laquelle s'écoulent le métal et la scorie, est faite avec de grosses briques très siliceuses bien ajustées. Elles s'usent rapidement, aussi doit-on les remplacer fréquemment en cours de marche.

Pose d'un premier fond solidaire de la boîte à vent. — Les fonds solidaires de la boîte à vent sont toujours cuits avant d'être mis en place. Pour le premier fond d'un garnissage, on a toute facilité d'entrer dans la cornue et d'examiner le damage du joint ; on le place alors avant d'enlever le gabarit, en maintenant le convertisseur le bec en bas. Le fond, soulevé par des treuils ou par un pont roulant, est retourné, déposé sur la dernière assise du revêtement, toujours faite en briques cuites et bien nivelée ; de nombreux boulons à clavette réunissent le fond à la cuirasse. Les boulons à écrou ne valent rien, car la dilatation déforme les filets, qu'on peut ensuite bien rarement dévisser ; l'attache par clavette est en outre plus rapide. Les boulons sont parfois recourbés à une extrémité, et maintenus par ce crochet à un cercle fixé au convertisseur.

On retourne ensuite la cornue pour damer le joint, on enlève l'échafaudage et le gabarit, et on peut procéder au séchage du revêtement.

Pose d'un premier fond indépendant de la boîte à vent. — Dans ce cas le convertisseur a été maçonné debout. On enlève l'échafaudage et le gabarit ; le vérin hydraulique qui amène le fond le cale dans son logement, et on dame le joint par l'extérieur et par l'intérieur, la cornue demeurant verticale. Le mortier, assez fin, ne doit pas renfermer de morceaux de plus de 5 à 6 millimètres ; on le délaye avec assez d'eau pour le rendre très plastique : il s'infiltre ainsi dans le joint, sous la pression des dames ; on a humecté préalablement les parois du fond et du garnissage avec une brosse trempée dans l'eau, pour que la brique ne boive pas brusquement l'eau contenue dans le mortier. Les dames en fer, peu épaisses, sont munies d'un manche droit, pour qu'on puisse les glisser sur toute la hauteur du joint.

Séchage du convertisseur. — Après que l'on a posé la plaque de fond de la boîte à vent, on procède à la mise en feu ; celle-ci est naturellement plus rapide quand la région inférieure du garnissage est en briques cuites. Le chauffage doit être mené très doucement ; c'est de lui que dépend en grande partie la qualité finale du revêtement. Si le mortier a été trop liquide ou si on le chauffe trop rapidement, des fissures se produisent, par suite du retrait irrégulier des diverses couches et de la pression interne de la vapeur.

On allume le feu avec du bois de sapin bien enflammé et on continue à l'alimenter au bois jusqu'à ce que la chaleur devienne intense,

et que la vapeur disparaisse de la surface du revêtement. On chauffe ensuite au coke, en donnant le vent très doucement pendant une heure ; on fait couler la scorie et on remplit de coke jusqu'à la ceinture ; il faut 4.000 kilogrammes de coke pour une cornue de 12 tonnes. On ajoute souvent un peu de castine et de scorie ferrugineuse, pour augmenter la fusibilité des cendres de coke. Le chauffage est alors repris pendant deux heures ; après quoi on vide la scorie hors de l'appareil, puis on le garnit s'il y a lieu de coke neuf, et on l'abandonne pendant vingt-quatre heures au moins, pour que toute trace d'humidité disparaisse entièrement. Une demi-heure avant de l'employer, on le réchauffe par un léger soufflage qui l'amène à la température convenable.

Accident survenant avant le séchage. — Les effondrements qui surviennent pendant la construction sont dus à la mauvaise qualité des matériaux, ou à la manière dont ils sont mis en œuvre. Quand le mortier siliceux est trop humide, son adhérence immédiate est assez grande, mais il n'a pas de consistance, et résiste mal à la compression et à l'écrasement ; tantôt de simples boursouflements se produisent, sous le poids des couches supérieures, tantôt un décollement total. Il vaut mieux démolir complètement un garnissage mal maçonné, et le recommencer, que le réparer et le cuire ainsi.

Les mêmes effets se produisent quand le mélange du mortier avec les fragments de briques est inégal, quand la compression n'est pas uniforme, quand le damage contre le gabarit a été insuffisamment serré.

Un béton trop sec, ne renfermant pas assez de terre grasse, risque de s'effondrer par glissement ; mais, s'il résiste au chauffage, on n'a plus d'accident à craindre, car sa surface s'est glacée, en lui donnant la résistance qui lui manquait.

Accidents survenant pendant le séchage. — Un convertisseur, même bien maçonné, peut s'effondrer partiellement pendant le séchage si on le chauffe trop brusquement. Il se produit un retrait d'autant plus considérable que la pâte était plus molle et plus argileuse ; la surface se fendille et tombe par plaques : les fentes sont dangereuses, car elles peuvent livrer passage au métal avant que les parois ne soient suffisamment glacées. Quand la partie inférieure est en briques, le séchage peut être mené plus rapidement que si tout l'ensemble est en matières crues, puisque les briques, qui sont le

plus exposées à la chaleur, ont déjà pris leur retrait et sont posées presque à sec.

On peut réparer un convertisseur avarié pendant la cuisson, en versant à la pelle, après nettoyage de la partie endommagée, un mortier fin et assez humide présentant la même composition que le revêtement; il ne le soude bien que s'il pénètre dans les anfractuosités et les fissures de la masse déjà cuite; il doit donc être assez plastique, et nécessite d'être fortement damé avec le dos d'une palette. Cette opération se fait par le bec, jusqu'à la ceinture; pour les régions situées au-dessous de cette zone, on ne peut guère y accéder qu'en enlevant le premier fond.

ENTRETIEN DES GARNISSAGES ACIDES

Usure du revêtement. — Les revêtements basiques tendent toujours à s'user, par suite de la déphosphoration et de la combustion du silicium ; les revêtements acides, au contraire, peuvent s'user ou se garnir par places, suivant la composition de la scorie et la température des opérations.

Les causes d'usure mécanique sont les frottements produits par le bain, par les additions de fonte, de chutes d'acier; l'usure chimique est due à la réaction de l'oxyde de fer ou de manganèse qui prend naissance aux tuyères, se dissout dans le bain, et scorifie la silice du garnissage.

Les scories siliceuses, pâteuses, peu fluides, deviennent, suivant leur température, rongeantes ou encrassantes. Ce sont les endroits les plus chauds qui sont donc les plus exposés à la corrosion, c'est-à-dire le fond, où se fait la première combustion, et où la proportion d'oxyde de fer est la plus grande, puis la panse, sur laquelle le courant gazeux projette le métal après avoir traversé le bain.

Les parties les plus exposées à l'encrassement sont le niveau du bain et le bec, du côté du dos, et la zône qu'atteint la scorie lorsque la cornue est horizontale, pendant la prise d'éprouvette et la coulée ; la scorie projetée sur le bec s'y refroidit sans retomber, et arrive quelquefois à le boucher presque complètement.

Réparations du garnissage. — Lorsqu'on change le fond du convertisseur, on en profite pour détruire les garnissages de scorie qui

se sont formés sur les parois ; on en rencontre quelquefois sur le fond lui-même, quand le joint est éloigné de la paroi, ce qui peut rendre difficile la démolition du vieux fond. Cet encrassage fortement siliceux est très dur; en l'attaquant à la pince, on le détache par couches successives. Quant aux loups de bec, on les enfonce au mouton, autant que possible sans arracher les briques ; si l'on ne peut pas les faire sortir de la cornue, on les y refond, soit en chauffant au coke, soit avec la coulée suivante. Quelquefois, le refroidissement qui s'est produit pendant le remplacement d'un fond décolle ces loups, qui tombent par la suite pendant le soufflage ; il faut prévoir cette chute et conserver la coulée bien chaude pour que le loup puisse fondre complètement.

On peut éviter la formation d'encrassages en rendant le laitier moins siliceux, mais c'est au détriment du revêtement ; on ajoute en ce cas de la castine ou des minerais ferrugineux. Lorsqu'on recarbure au spiegel dans la cornue, l'oxyde de manganèse produit par la désoxydation passe dans la scorie et la rend plus fluide.

Le bec, nettoyé et débarrassé des fragments de scorie qui le recouvrent, est réparé avec des briques cuites neuves, maintenues par une bande de tôle cintrée ; après la mise en service, la chaleur et la scorie les soudent au garnissage.

On ne suspend généralement pas la marche de la cornue dans le seul but de faire des réparations au garnissage. Les parties devenues trop minces sont remises en état, en y étendant, à la palette, du mortier siliceux assez riche en argile et fortement humecté d'eau, pour que la haute température à laquelle il est brusquement soumis ne le cuise pas immédiatement ; il faut, pour qu'il adhère, que le garnissage soit d'abord légèrement refroidi : on peut, à cet effet, l'arroser avec un seau d'eau. Le mortier, déposé sur une palette à longue tige, est versé à la place voulue dans le convertisseur convenablement incliné, puis damé avec le dos de la pelle. Quand la région à réparer est verticale ou très inclinée, on maintient le mortier jusqu'à ce qu'il soit sec au moyen d'un morceau de bois soutenu par une pique en fer.

S'il y a lieu, on réchauffe ensuite la cornue au bois, ou même au coke.

Réfection partielle d'un garnissage. — De plus importantes réparations ne peuvent pas se faire à chaud. Quand la cornue est refroidie, on supprime toutes les parties usées, sans démolir le garnissage

jusqu'à la tôle ; on a tout intérêt à garder les régions qui se sont bien conservées, car l'usage a augmenté leur dureté et leur résistance chimique. On enlève en même temps les encrassages de scories, très durs, composés de silice et d'oxydes métalliques avec interposition de globules d'acier ; on les attaque à la pince, car on risquerait, avec un mouton, d'entraîner avec eux le garnissage sous-jacent. La réparation se fait au moyen de briques cuites par l'intérieur du convertisseur. Les revêtements acides offrent sur les revêtements dolomitiques cet avantage des réparations partielles, tandis que ces derniers nécessitent, après un refroidissement, d'être complètement démolis et refaits à neuf.

Réparations du fond. — Les fonds à trous s'usent beaucoup plus vite que les fonds à tuyères rapportées. On les répare, entre deux coulées, en bouchant les trous avariés avec des mottes de mortier argileux gras qu'on jette par le bec ; le vent ne passant plus, la principale cause d'usure se trouve supprimée ; à mesure que la surface se ronge, le trou se débouche peu à peu et reprend bientôt son rôle. Au besoin, on retire la plaque de fond de la boîte à vent, pour boucher également les trous par l'arrière.

Le remplacement des tuyères se fait très rapidement : on enlève la plaque de fond, la collerette de la tuyère usée, et on nettoie le logement à coups de pince ; la tuyère neuve est enduite de mortier clair argileux ; on la pousse à la main, puis à coups de maillet par l'intermédiaire d'un long bois qui amortit les chocs ; on replace la collerette de calage, et la tuyère est prête à servir. Le tout demande environ dix minutes.

REMPLACEMENT D'UN FOND

Changement d'un fond plat. — Quand on a déjà changé plusieurs tuyères d'un même fond, il devient préférable de le remplacer par un neuf : on enlève la plaque de fond de la boîte à vent, on redresse la cornue, au-dessous de laquelle on amène le truck porteur de fonds, dont on élève le piston du cylindre hydraulique jusqu'à ce que son sommier vienne en contact avec la boîte à vent. On chasse les clavettes des boulons de retenue, et le fond se décolle par son propre

poids ; au besoin, on dégrade le joint avec des pinces pour faciliter le décollement. On nettoie la face de joint du garnissage de la cornue, on éloigne le vieux fond, on en amène un neuf, sortant de la hotte de cuisson et muni de ses tuyères ; en même temps d'autres ouvriers garnissent la face du joint d'un bourrelet de mortier argileux très clair. On élève le fond, on le centre, et on donne toute la pression pour le serrer contre la cornue, en clavetant aussitôt les boulons d'attache. On assure l'étanchéité du joint en damant dans l'espace resté libre un mortier argileux humide, renfermant 25 0/0 d'argile mélangée à du quartz finement pulvérisé ou à du ganister, préparé par un pourrissage et un pétrissage prolongés ; on découpe ce mortier en tranches, qu'on enfonce et que l'on comprime à refus, au moyen de longues dames légèrement chauffées ; on opère par couches successives qui se soudent les unes aux autres.

Pendant cette opération, le convertisseur reste debout ; les ouvriers se placent sur un plancher volant. La cuisson s'effectue pendant le bourrage des couches extérieures ; au bout de vingt à trente minutes, on peut reprendre le travail.

Changement d'un fond conique. — Le remplacement des fonds coniques, par l'intérieur de la boîte à vent, demande un peu plus de temps. Ils sont disposés de la même manière que les fonds basiques, sauf que la circonférence du joint n'est pas protégée par un rebord faisant partie de la plaque-support ; celle-ci est fixée dans la boîte à vent par quelques oreilles qui la centrent et l'appuient sur les corbeaux engagés dans la paroi de la boîte à vent ; il est donc possible de damer le joint par l'extérieur.

La paroi du garnissage latéral est préalablement enduite d'un lait de graphite, qui empêche une adhésion trop brusque du mortier du joint ; les tranches de mortier sont enfoncées jusqu'au bord supérieur du fond, et énergiquement damées. On remplit ainsi le joint complètement, jusqu'au niveau de la plaque ; dans beaucoup d'aciéries, on fixe à la plaque-support, par des agrafes placées entre les oreilles, des segments d'armature qui maintiennent la dernière couche du bourrage. Pour opérer le damage, on place le convertisseur horizontalement, ou mieux verticalement, le bec en bas ; les ouvriers montent alors sur un plancher volant suspendu à la charpente.

Les joints des fonds acides sont parfois coulés de la même façon que ceux des fonds basiques. Quand l'épaisseur du joint fait craindre

que le retrait ne produise des trous et des fissures, on bouche, avant de poser le fond, l'orifice des tuyères avec des tampons d'argile ; on dame le joint par la boîte à vent, sur 20 centimètres environ de profondeur, puis on verse, dans la cornue redressée, un coulis argileux très fluide, qu'on fait pénétrer dans les anfractuosités du joint en balançant le convertisseur.

Cette méthode, qui convient parfaitement aux garnissages basiques, est peu recommandable pour les garnissages acides : la chaleur du fond et des parois vaporise rapidement l'eau du coulis, en le rendant pâteux, tandis qu'elle augmente, au contraire, la fluidité du goudron ; le dégagement de vapeur peut même projeter des fragments de mortier et créer des soufflures. En tout cas, il est indispensable de déboucher au plus tôt les tuyères, qui se souderaient rapidement aux tampons obturateurs.

Comparaison des deux systèmes de fonds. — Les fonds plats sont employés principalement en Amérique ; ils ont l'avantage d'être faciles à remplacer dans l'intervalle de deux coulées : on met moins de temps à remplacer un tel fond qu'à changer quelques tuyères. Par contre, le joint horizontal offre moins de garanties de sécurité que le joint vertical intérieur à la boîte à vent. Il faut en outre avoir un approvisionnement assez considérable de fonds et de boîtes à vent solidaires : les fonds plats supportent rarement plus de 15 à 18 coulées.

La pose des fonds coniques, assez répandus en Europe, est plus longue et leur remplacement moins aisé. Le joint avec le garnissage résiste plus longtemps et présente plus de sécurité ; il est presque toujours possible, en cas d'avarie, de le réparer en cours de marche de façon à terminer la coulée, ce qui est difficile avec un joint horizontal. Ils supportent 25 et même 30 opérations ; on peut prolonger cette durée en augmentant la pression du vent, qui éloigne alors davantage le métal de la surface du fond, protégée pour ainsi dire par un matelas d'air. Pour une même capacité de cornue, les fonds coniques ont généralement une surface active plus grande que les fonds plats, ce qui accroît encore leur résistance.

Les fonds à trous peuvent être économiques pour une aciérie à faible production, quand on a le temps de les réparer entre deux coulées successives ; en les entretenant soigneusement, on arrive à prolonger notablement leur existence.

Mise en service d'un convertisseur. — Après avoir remplacé un fond dans un convertisseur momentanément hors service, on le charge de coke, qui s'allume spontanément au contact du garnissage encore chaud, et qui maintient la température intérieure au rouge sombre jusqu'au moment où l'appareil reprend sa marche. Lors de la mise en service, on réchauffe la cornue pendant quinze ou vingt minutes par un léger soufflage, puis on verse le coke et la scorie dans une cuve ; on enlève à la pince les fragments de coke qui restent adhérents aux parois. Afin d'avoir après chauffage des garnissages propres, on ajoute souvent au coke des débris de castine ou de la chaux en poussière, des scories basiques, qui rongent légèrement le garnissage et scorifient les cendres du coke en une crasse fluide que l'on fait écouler à terre.

DURÉE DES GARNISSAGES ACIDES

On ne peut comparer la durée des garnissages acides à celle des garnissages basiques, car les causes d'usure sont tout à fait différentes : la scorie siliceuse du convertisseur acide ronge très peu les parois, parce qu'elle reste toujours acide, et qu'elle sature les bases auxquelles la conversion donne naissance. — Quant au fond acide, non seulement il est soumis aux mêmes actions mécaniques que le fond basique, mais il est en outre exposé à l'action corrosive de l'oxyde de fer naissant, produit par la combustion du fer au nez des tuyères ; si donc le fond acide ne possédait pas une cohésion supérieure à celle du fond basique, il serait mis hors service plus rapidement que lui.

Les fonds alumino siliceux à trous, de 70 à 80 centimètres d'épaisseur, font 20 à 25 coulées ; le premier fond d'un convertisseur neuf en fait naturellement un peu moins. Les fonds à tuyères rapportées durent plus longtemps, à condition de remplacer en cours de marche les tuyères endommagées ; on atteint avec eux 35 à 40 coulées, pour 60 à 70 centimètres d'épaisseur ; ils sont mis hors service quand cette épaisseur est réduite à 35 centimètres.

L'existence des garnissages acides est presque indéfinie ; une marche rapide favorise leur conservation. On a dépassé, en Amérique, 2.000 opérations sur un même revêtement ; on peut compter

couramment 400 à 500 coulées sans réparations. Cette longue durée permet de n'employer que deux cornues acides pour une marche ininterrompue, tandis que trois cornues basiques sont nécessaires pour la même production. Une aciérie de quatre convertisseurs acides peut marcher sans interruption avec deux ou trois cornues en service et une seule machine soufflante, en alternant le soufflage sur les convertisseurs en fonctionnement; on possède ainsi, à tout moment, au moins un appareil de rechange, prêt à être mis en service.

CHAPITRE X

ÉTUDE THÉORIQUE DE L'AFFINAGE SUR SOLE

DÉCOUVERTE DE MARTIN

Diverses tentatives furent faites, entre 1840 et 1860, relativement à la fabrication de l'acier sur sole, par fusion d'un mélange de fonte et de chutes d'acier. Mais ce ne fut qu'en 1865 que Martin, de Sireuil, parvint à obtenir couramment de l'acier fondu, ce qui permit d'utiliser les chutes, dont les usines possédant des convertisseurs et des laminoirs commençaient à s'encombrer.

Le principe de la découverte de Martin est l'application à la fusion de l'acier du chauffage au gaz avec récupération de la chaleur des fumées, chauffage adopté déjà par Frédéric Siemens pour les fours de verrerie; aussi le procédé porte-t-il fréquemment le nom de Martin-Siemens. Le gaz ne possède pas cependant un rôle purement calorifique : on en règle la composition, de manière à créer dans le laboratoire du four une atmosphère tantôt oxydante, tantôt réductrice ou même neutre. L'emploi d'un combustible gazeux permet de faire facilement varier la composition chimique du métal, sans rien perdre de la puissance calorifique disponible. L'action chimique de l'atmosphère de chauffage est la caractéristique du procédé Martin; c'est ce qui le différencie de la fusion au creuset.

THÉORIE CHIMIQUE DE L'AFFINAGE SUR SOLE

Les matières premières intervenant dans la composition de la charge d'un four Martin sont très variables : la charge peut comporter uniquement de la fonte — ou uniquement des chutes d'acier

de diverses natures — ou des mélanges intermédiaires. Elle dépend avant tout des matières que l'on a à sa disposition, puis de considérations techniques. Il est naturel, par exemple, que les usines riches en fonte augmentent la proportion de fonte dans la charge de leurs fours à sole, faisant ainsi concurrence à la conversion. Celles, au contraire, d'ailleurs plus nombreuses, qui ne disposent que peu de fonte, s'approvisionneront de déchets de fer et d'acier, auxquels elles ajouteront le moins possible de fonte. Il ne peut donc y avoir pour la pratique de l'affinage sur sole un procédé unique comme pour l'un des genres de conversion ; les méthodes de travail doivent être modifiées suivant les circonstances, appropriées à l'utilisation la meilleure des matériaux disponibles. Néanmoins, les principes techniques qui président à la conduite de l'opération restent constants.

Différences avec la conversion. — La conversion présente un caractère d'uniformité qu'on ne retrouve point dans l'affinage sur sole : pour celui-ci, la majeure partie de la charge, souvent la totalité, est mise au four à l'état solide; elle y reste hétérogène jusqu'à fusion complète. Les éléments de la charge ne fondent pas tous à la même température ; celle-ci est d'autant plus basse que le métal est moins pur et demande un affinage plus prolongé. La durée de la transformation est notablement supérieure à celle de la conversion, car l'action chimique de l'atmosphère ne peut s'exercer directement que sur la surface libre du bain : c'est par l'intermédiaire de la scorie surnageante que les réactions se produisent, très lentes, puisque les réactifs ne sont en contact que sur une surface relativement faible ; même après la fusion de la charge, l'affinage dure 10 à 15 fois plus longtemps que la conversion.

Il en résulte diverses particularités qui semblent venir à l'encontre de la théorie pure et du but économique du procédé. Les réactions qui, dans la conversion, se produisaient intégralement et les unes après les autres, deviennent ici simultanées et incomplètes ; la température y joue un rôle prépondérant. D'autre part, la durée des réactions, étant augmentée, supplée au manque de vivacité de chacune; des combinaisons, à peine sensibles dans la conversion, prennent une importance notable dans l'affinage sur sole ; les excès de réactifs pourront donc être beaucoup moindres, et même devenir infiniment réduits, ce qui permettra d'obtenir des métaux bien plus purs que les produits de conversion.

La pratique enseigne, pour chaque cas particulier, quelle est la composition de la charge la plus favorable ; les extrêmes, emploi exclusif de fonte, ou de chutes d'aciers, conduisent à des résultats peu économiques. Dans toute charge, on rencontre généralement les impuretés des fontes : carbone, silicium, manganèse, phosphore et soufre. On évite autant que possible la présence de ce dernier, en s'en débarrassant au haut-fourneau, puisque son élimination ne peut être normalement effectuée par une opération oxydante. Le départ du phosphore exige un milieu oxydant très basique capable de saturer l'anhydride phosphorique ; si sa proportion dans la charge est notablement supérieure à celle que l'on veut avoir dans l'acier final, il faut avoir recours à des procédés spéciaux.

Méthode acide. — Méthode basique. — On distingue donc tout de suite deux méthodes de travail : l'une, sur garnissage réfractaire neutre ou siliceux, sera réservée pour l'affinage des produits non phosphoreux ; la seconde, mettant en présence du métal une scorie très calcaire, effectuée par suite sur un garnissage inattaquable par les bases, sera indispensable pour l'épuration des produits phosphoreux. Cette distinction rappelle celle qui a été faite pour la conversion, mais elle est moins radicale. Si un garnissage siliceux est incompatible avec un bain phosphoreux, la contre-partie n'est pas exacte : l'affinage de métaux non phosphoreux peut être réalisé sur sole basique, à condition toutefois que l'oxydation de ces métaux n'entraîne pas la production d'une trop grande quantité de silice qui rongerait la sole, et que l'on mette en présence une base plus énergique que celle dont est constituée la sole, pour saturer les fonctions acides.

Le silicium ne subit pas, sur sole acide, une oxydation complète, surtout lorsque la température est élevée dès le début de l'opération ; le manganèse le protège, et peut même le régénérer au moment des additions finales. Le départ du silicium se produit d'une façon régulière pendant toute la durée de l'affinage ; le bain peut en contenir encore 0,15 0/0 avant les additions.

Son élimination est bien plus rapide sur sole basique ; sa proportion initiale est d'ailleurs plus faible, sans quoi le garnissage serait fortement rongé. La combustion commence dès le début de l'opération ; la silice sature l'oxyde de fer qui prend naissance dans le bain, avant que les additions calcaires ne soient entrées en scorification. L'affinité du silicium pour l'oxygène se trouve accrue par cette réaction

secondaire, de sorte qu'après décarburation il ne reste dans le métal que des traces de silicium. Comme sa température de combustion est élevée, on emploie souvent des additions de ferrosilicium pour réchauffer le bain, qui absorbe ainsi la différence entre les chaleurs de combinaison d'un poids donné d'oxygène enlevé au fer et fixé par le silicium.

Sur le manganèse, dont l'oxydation produit une base forte, l'influence des garnissages est l'inverse de ce qu'elle est sur le silicium. Avec une sole siliceuse, le manganèse disparaît rapidement dès le début: l'oxydation, qui s'effectue d'abord sur le fer parce qu'il prédomine dans la masse, se reporte sur le manganèse, dont la teneur, en fin d'affinage, est de 0,10 à 0,15 0/0 ; les soles acides conviennent donc bien pour la production d'un métal peu manganésé.

Une sole basique favorise au contraire la conservation du manganèse, tant qu'il reste du carbone dans le bain ; comme l'opération Martin s'effectue toujours à une température voisine de la fusion de l'acier, le manganèse est longtemps protégé par le carbone, et protège lui-même le fer contre une trop vive oxydation. Les aciers basiques renferment 0,20 à 0,30 0/0 de manganèse après affinage ; les additions qu'on leur fait s'appauvrissent relativement bien plus en carbone qu'en manganèse, de sorte que l'acier final conserve une notable proportion de ce dernier élément, sans qu'il en résulte d'ordinaire aucun inconvénient.

Parmi les composants de la charge, seules les fontes renferment beaucoup de carbone ; comme elles fondent les premières, la décarburation commence presque immédiatement, de sorte que les gouttelettes de fonte qui suintent sur le métal sont partiellement décarburées lorsqu'elles atteignent la sole. Quand la scorie naissante commence à recouvrir le métal, le départ du carbone est momentanément ralenti, jusqu'à ce qu'elle devienne assez basique pour être suroxydée ; l'oxydation soulève alors le bain en bouillonnements tumultueux. Les additions de produits oxydés, minerai ou battitures, en multipliant les surfaces de contact du carbone avec les oxydants, achèvent très rapidement la décarburation. On s'aperçoit que celle-ci est terminée à la disparition ou à la diminution du bouillonnement. L'affinage des fontes non phosphoreuses sera arrêté à ce moment, ou un peu auparavant si on veut obtenir des aciers durs. L'oxydation doit être poussée plus loin avec des fontes phosphoreuses, de même que dans la conversion. Cependant, grâce à la longueur de l'opération et à la présence d'une scorie très calcaire, encore mal formée

il est vrai, mais placée dans d'excellentes conditions pour réagir, la déphosphoration a commencé bien avant le départ complet du carbone, avec d'autant plus d'intensité que la température est plus élevée. Si le bain est très chaud, l'oxydation s'est particulièrement portée sur le carbone et le phosphore.

L'expulsion du phosphore est naturellement d'autant plus rapide que la charge initiale en contient moins. Il est difficile, avec des fontes phosphoreuses, de forcer la proportion de fonte dans la charge, tant en raison de la quantité de calcaire qui devient nécessaire que pour limiter la durée de l'opération. On compose la charge de manière que la déphosphoration suive de près la décarburation, soit en réduisant le poids de fonte, soit en incorporant des oxydants énergiques, minerais ou battitures.

Quant à la désulfuration, elle n'est sensible que sur sole basique, grâce à la scorie calcaire qui fixe le soufre sous forme de sulfures de calcium. Les additions manganésées ont également une heureuse influence ; les minerais de manganèse introduits dans la scorie sont eux-mêmes de bons désulfurants. Le départ du soufre n'a pas lieu par oxydation, comme au convertisseur : c'est un simple déplacement par la chaux ou les corps manganésés ; l'anhydride sulfureux, s'il se formait, serait immédiatement réduit par le fer avec lequel il demeure en contact, tandis que, dans la conversion, le courant gazeux le dilue et l'entraîne. La réduction de l'anhydride sulfureux est si nette qu'on a constaté des sulfurations partielles du bain par l'action des gaz de chauffage provenant de charbons fortement sulfureux.

Rôles des réducteurs dans la charge. — L'emploi d'une source de chaleur indépendante de la charge rapproche l'affinage sur sole de la fusion au creuset, et il semblerait, au premier abord, que l'on pût traiter par ce procédé des métaux épurés qui ne subiraient qu'une simple fusion, destinée à leur donner une forme sous laquelle ils puissent être mis en œuvre. Mais une différence essentielle existe entre le chauffage par transmission à travers une paroi et le chauffage par contact direct. Le creuset, fermé de toutes parts, soustrait totalement le métal qu'il renferme à l'atmosphère ambiante ; les réactions qui s'y produisent sont dues uniquement aux corps solides que l'on y a chargés. Dans la fusion sur sole, au contraire, bien que le chauffage au gaz porté à haute température avant l'inflammation soit le procédé qui exige la quantité d'air minima pour une combustion complète, il est indispensable d'avoir un léger excès d'oxygène,

dont le rôle chimique sera considérable; sinon, la combustion est peu économique et ne permet pas d'atteindre la température maxima.

Tant que la fusion du métal est inachevée, les fragments restent baignés par le gaz sur toute leur surface. La fusion, goutte à goutte, des chutes d'acier donne naissance à beaucoup d'oxyde de fer puisqu'elles renferment très peu d'impuretés ; la fusion de la fonte produit au contraire une épuration de ces gouttelettes, avec une faible production d'oxyde de fer. Le bain qui résulte du mélange reste riche en oxyde de fer dissous, dont une partie s'est combinée avec la silice naissante ou avec l'anhydride phosphorique, formant une scorie qui recouvre la surface du métal et le soustrait à l'action des gaz. A partir de ce moment, l'air ne peut agir sur le métal que par l'intermédiaire de la scorie très ferrugineuse qui se peroxyde au contact de la flamme, mais qui acquiert un état instable; les parties peroxydées sont réduites par les impuretés du bain et l'oxyde ferreux est régénéré. La fusion sur sole diffère donc sur ce point de l'affinage par conversion, où l'oxyde de fer actif reste dissous dans le métal.

Si cette oxydation n'était pas limitée, le bain serait immédiatement saturé d'oxyde de fer qui produirait un important déchet. Il faut donc protéger le métal pendant sa fusion par des réducteurs qui absorberont l'excès d'oxygène ; on emploie précisément dans ce but le fer impur qu'il s'agit d'épurer.

Bien que les actions oxydantes de l'affinage sur sole soient moindres que celles de l'affinage par le vent, la présence du carbone de la fonte seule ne suffirait pas à protéger efficacement le fer, qui resterait saturé d'oxyde. C'est encore au manganèse et au silicium que l'on a recours; tous deux ne jouent pas exactement le même rôle, et, en particulier, le manganèse ne pourrait pas être totalement remplacé par le silicium. L'oxyde de manganèse qui prend naissance aux dépens de l'oxyde de fer se trouve réduit par le carbone avec régénération du métal ; l'oxyde manganeux est donc un oxydant du bain, au même titre que l'oxyde de fer, et la facilité avec laquelle se forment ses peroxydes lui assure un rôle important dans l'affinage du métal. Finalement, malgré l'affinité du manganèse pour l'oxygène, le bain en renferme encore une notable quantité, particulièrement sur une sole basique.

Le silicium ne pourrait remplacer convenablement le manganèse : un excès de silicium est peu favorable au laminage, et la facile dif-

fusion de la silice naissante dans le fer fondu en augmente encore les inconvénients. Les fontes silicieuses s'affinent très rapidement, grâce à la grande quantité de chaleur que dégage la combustion du silicium, et à l'augmentation de l'affinité du carbone pour l'oxygène que produit l'élévation de la température. Les réducteurs que l'on ajoute au bain doivent donc comporter, de préférence, du manganèse et du silicium, le carbone ne jouant qu'un rôle accessoire; leur teneur en silicium dépendra de la nature de la sole et du mode de travail.

Bien que le phosphore se comporte aussi comme un réducteur, sa présence n'en constitue pas moins un inconvénient, même quand on peut l'éliminer, sur sole basique. Dans la conversion, on rencontre une absolue nécessité d'employer des fontes assez phosphoreuses; on recherche au contraire, dans la fusion sur sole, à réduire au minimum la teneur du bain en phosphore : la source de chaleur est là, en effet, étrangère et onéreuse; toute augmentation de la proportion de phosphore entraîne une augmentation de la durée d'affinage, augmente donc la dépense de combustible, et l'oxydation du bain qu'on devra combattre par une addition plus importante de réducteurs. On évitera donc en principe une grande teneur en phosphore, même dans le procédé basique.

Avec des matières non phosphoreuses, qu'on peut traiter indifféremment sur sole acide ou basique, le poids de la fonte qui entre dans la charge importe relativement peu, car on peut toujours lui opposer des produits oxygénés, minerais ou battitures, en proportion convenable. Plusieurs variantes furent en usage, autrefois, pour traiter des quantités de fonte importantes; puis, la production des ferrailles prenant de plus en plus d'importance, on en vint presque à considérer le procédé Martin non comme un affinage, mais comme une refonte.

On est revenu récemment, en Amérique, à l'idée primitive, en la modifiant quant à la dimension des appareils et au chargement de la fonte qui est enfournée à l'état liquide; l'acier sur sole devient alors l'adversaire direct de l'acier de conversion.

La charge sera toujours réglée de manière que l'opération entraîne le minimum de frais, tant comme combustible que comme matières premières. Quand la teneur en silicium des produits non phosphoreux est faible, on peut les affiner sur une sole basique qui produit des métaux plus purs, car elle n'exerce aucune influence sur la composition du métal, tout en permettant de réduire encore la proportion de phosphore. La plupart des fours actuels produisant l'acier de

laminage sont construits en matériaux basiques; les fours acides sont réservés à des aciers de forge et de moulage.

APPAREILS EMPLOYÉS POUR L'AFFINAGE SUR SOLE

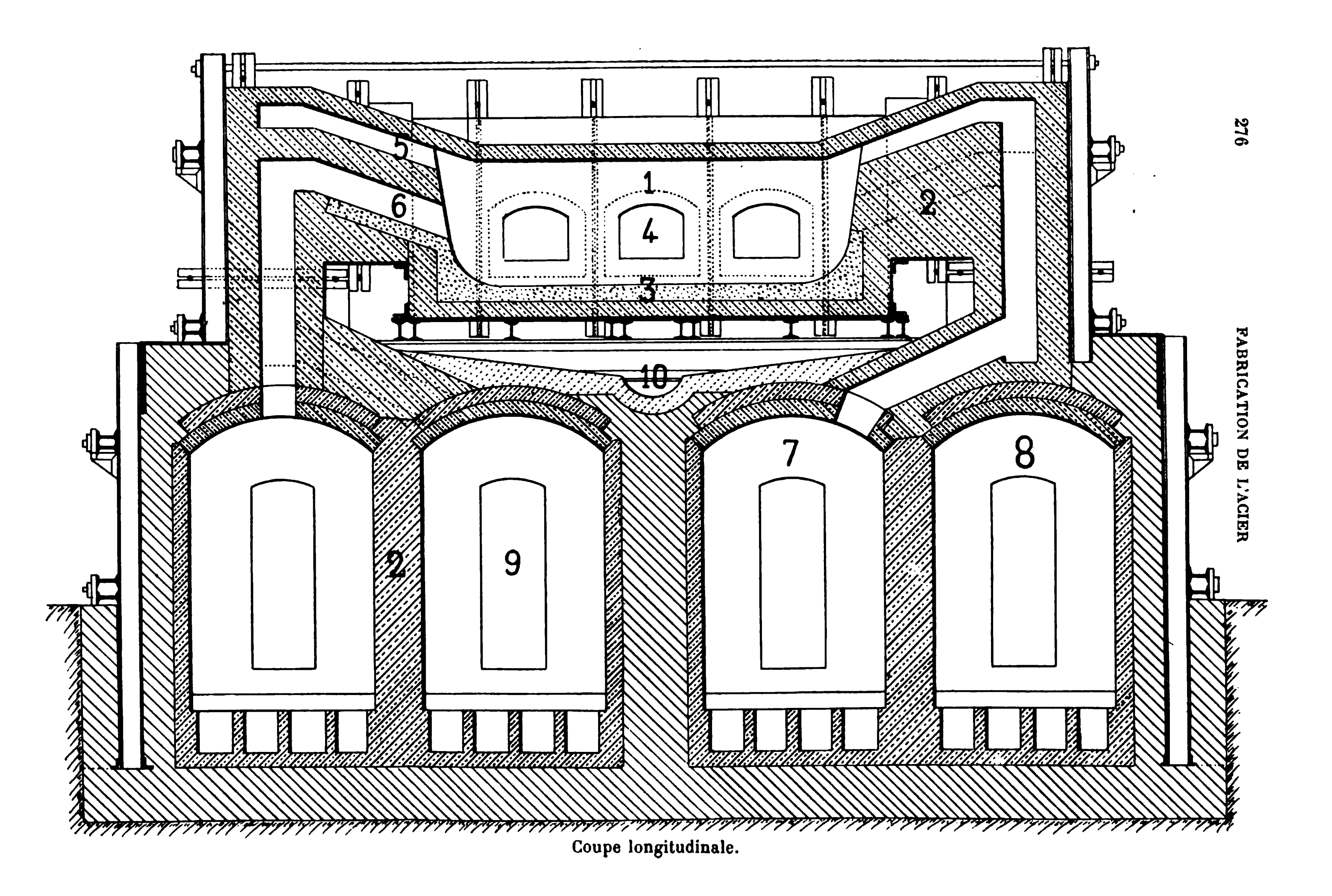
Laboratoire du four. — L'affinage par le procédé Martin s'effectue sur la sole d'un four à réverbère construit en matériaux réfractaires capables de résister aux actions chimiques du métal et de la scorie. Le laboratoire est soutenu par un plancher métallique reposant sur d'épais massifs de maçonnerie, à une hauteur de $2^{m},50$ ou 3 mètres au-dessus du sol, de manière qu'on puisse faire écouler le métal dans la poche qui l'emporte vers les lingotières.

La sole est établie sur une aire de dalles en fonte, dont la face inférieure est exposée à une circulation d'air qui la refroidit; elle constitue une cuvette de 30 à 75 centimètres de profondeur; sa section horizontale est rectangulaire avec pans légèrement coupés, et symétrique; elle offre une faible pente vers le milieu d'une des grandes faces, où se trouve le trou de coulée, prolongé par un chenal extérieur. Ce trou est bouché à chaque opération par un pisé réfractaire de même composition que la sole elle-même.

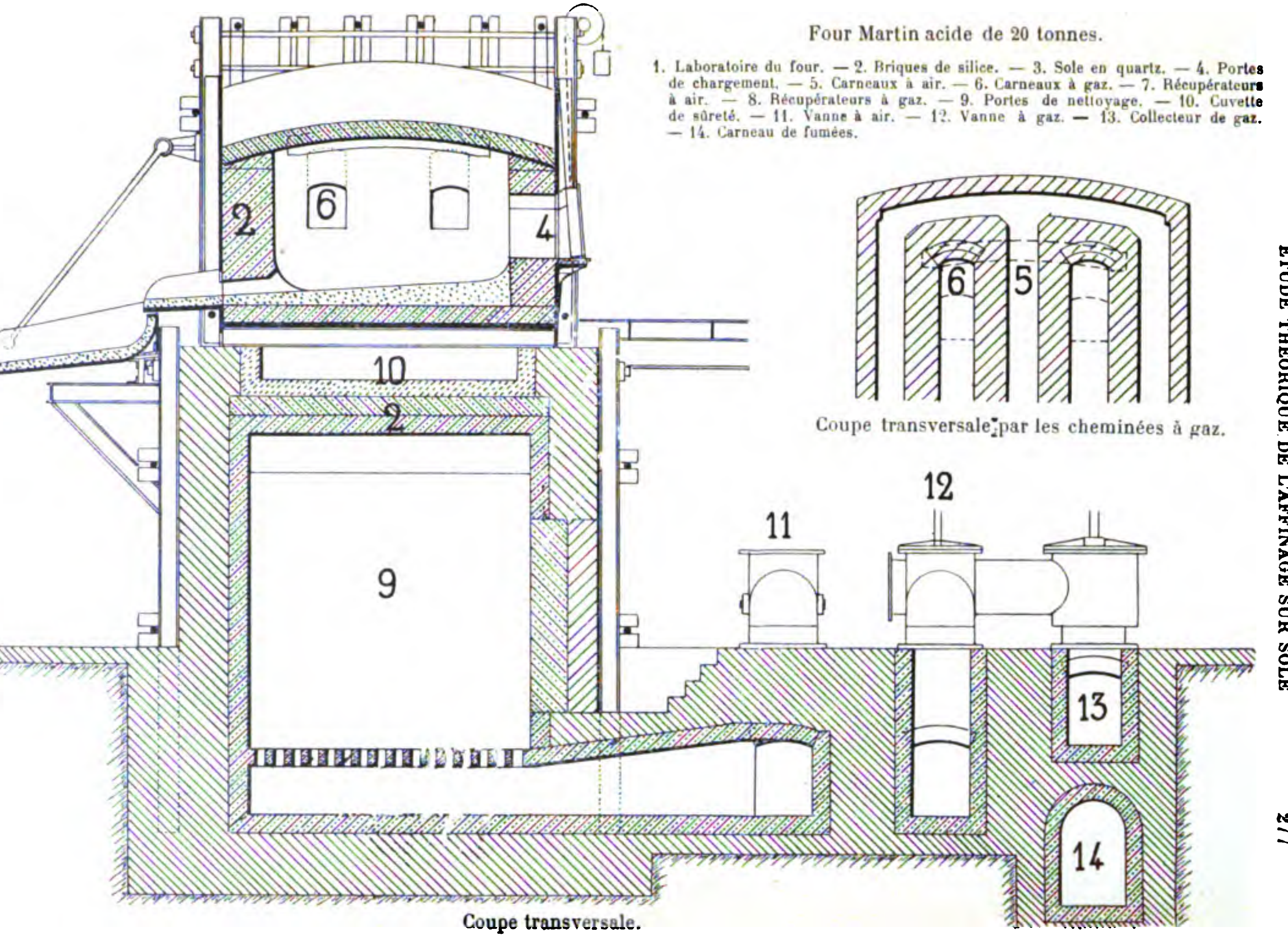
Les piédroits qui la surmontent sont maintenus par des armatures sur les deux grandes faces; les deux autres faces, ou têtes du four, sont occupées par les brûleurs à gaz. La face opposée au trou de coulée est percée de baies de chargement, fermées par des portes à guillotine garnies de briques. Le décrassage se fait par le seuil de la porte médiane, disposé en chenal à la hauteur du niveau du bain. De ce côté se trouve une plate-forme de travail à la hauteur du fond de la sole.

La voûte repose, non sur les piédroits qu'elle chargerait inutilement, mais sur leurs blindages; elle est complètement indépendante de la sole et des costières, qu'on peut réparer sans la démolir. La suspension du laboratoire sur une charpente métallique le met à l'abri des efforts de dilatation dus aux alternances de température auxquelles sont soumises les autres régions du four.

Gazogènes. — Le gaz de chauffage est produit dans des gazogènes séparés, indépendants du four. Chaque four a généralement ses



Coupe longitudinale.



Four Martin acide de 20 tonnes.

1. Laboratoire du four. — 2. Briques de silice. — 3. Sole en quartz. — 4. Portes de chargement. — 5. Carneaux à air. — 6. Carneaux à gaz. — 7. Récupérateurs à air. — 8. Récupérateurs à gaz. — 9. Portes de nettoyage. — 10. Cuvette de sûreté. — 11. Vanne à air. — 12. Vanne à gaz. — 13. Collecteur de gaz. — 14. Carneau de fumées.

gazogènes particuliers, dont la marche est soumise à l'allure de l'opération; il existe cependant des batteries de gazogènes sur le collecteur desquelles chaque four s'alimente. Ce gaz est le produit mixte de la distillation de la houille et de la transformation en oxyde de carbone du coke qui en résulte; fréquemment, une injection d'eau ou de vapeur sous les grilles introduit dans le mélange de l'hydrogène dû à la décomposition de l'eau par le carbone. Les gazogènes sont soufflés pour activer leur allure et faciliter le tirage des fours.

Chauffage des éléments de la combustion. — La combustion du gaz a lieu dans le laboratoire lui-même, au contact de l'air qu'y amène une canalisation distincte. L'introduction d'air froid, bien que réalisant la combustion, ne produirait pas une fusion économique de la charge; les gaz inertes, azote et anhydride carbonique, absorbent une grande quantité de chaleur avant d'être élevés à la température finale des éléments actifs. On réchauffe donc préalablement les gaz à 800 ou 900°, et c'est leur mode de chauffage, au moyen des fumées s'échappant du four, qui constitue la découverte de Siemens. La chaleur de combustion d'un volume donné de combustible est utilisée en deux phases : depuis la température de combinaison jusqu'à une température voisine de la fusion de l'acier, et depuis ce dernier point jusqu'à la température qu'exige le tirage de la cheminée.

La récupération de la chaleur des fumées est obtenue soit par un échange de température avec les gaz froids, séparés par une cloison conductrice, soit par l'intermédiaire de matériaux réfractaires, échauffés d'abord par les unes, réchauffant ensuite les autres en deux périodes distinctes. C'est le dernier système qui est en usage pour les fours à acier; il permet d'atteindre les plus hautes températures, en évitant toute communication entre les fumées et les gaz destinés à la combustion. La présence de l'intermédiaire réfractaire nécessite l'emploi de deux groupes d'appareils récupérateurs analogues : l'un absorbant la chaleur des fumées, l'autre restituant aux gaz celle qu'il a primitivement acquise. Pour éviter de longues canalisations, qu'il serait difficile de maintenir étanches à haute température, ces deux groupes sont placés dans le voisinage du four, symétriquement par rapport à lui, et en relation avec les têtes; chacun sert alternativement à la distribution du gaz et à l'échappement des fumées. Le courant gazeux change donc de sens, dans le laboratoire, chaque fois qu'on renverse les rôles des récupérateurs. Cette

inversion se fait par un système de vannes qui met en communication chacune des têtes, tantôt avec le collecteur du gaz et la prise d'air, tantôt avec les carneaux de fumées et la cheminée.

Les récupérateurs sont généralement placés sous la sole du four, dans des cages maçonnées, indépendantes du massif qui supporte le laboratoire; leurs variations de température n'intéressent donc pas le four lui-même. Ils peuvent être aussi, pour des fours de grandes dimensions, allongés sous la plate-forme de chargement. Les carneaux d'arrivée du gaz et de l'air sont séparés par de longues cloisons au bout desquelles s'effectue la combustion, dans l'enceinte même du four. L'usure les dégrade, ce qui allonge le laboratoire; peu à peu l'intensité de la chaleur diminue, puisqu'elle se répand dans un espace plus vaste, jusqu'à ce qu'il soit nécessaire de mettre le four hors service.

On a expérimenté depuis quelques années des fours d'une capacité supérieure à 50 tonnes, dont le laboratoire est oscillant; les têtes et les récupérateurs sont fixes; ils se rapprochent des mélangeurs chauffés. On y trouve divers avantages, particulièrement pour affiner des charges contenant une grande proportion de fonte. Ils sont manœuvrés au moyen de cylindres hydrauliques, et permettent de verser par le chenal à un instant quelconque tout ou partie du bain qu'ils renferment.

ÉTUDE D'UNE OPÉRATION MARTIN BASIQUE

Composition de la charge. — Dans un four Martin de 20 tonnes en marche normale, on enfourne la charge suivante :

	Kilogrammes
Fonte manganésée phosphoreuse..............	5.000
Ferrailles d'acier dur (vieux rails, chutes de rails, boccages)	6.000
Ferrailles d'acier doux (chutes de tôles, de profilés, etc...)................................	9.000
	20.000
Castine	1.500

Les divers métaux de la charge ont pour composition:

	Foute Pour 100	Acier dur Pour 100	Acier doux Pour 100
Si	1,00	0,10	0,05
C	3,60	0,45	0,12
Ph	0,090	0,080	0,070
S	0,065	0,050	0,050
Mn	1,80	0,90	0,45
Fe	93,445	98,42	99,26

L'analyse de la castine est:

SiO^2	0,35 0/0
$(Al^2O^3 + Fe^2O^3)$	0,65 0/0
(CaO + MgO + alcalis)	54,00 0/0
$(CO^2 + H^2O)$	45,00 0/0

La proportion moyenne des éléments réducteurs dans le bain est:

	Pour 100
C	1,809
Si	0,302
Ph	0,280
Mn	0,922

Les principales phases de l'opération sont les suivantes :

	Heures
Commencement de la charge	12,00
Fin —	1,00
Fin de la fusion	5,00
Premier décrassage	7,00
Addition de 100 kilogrammes de castine	7,15
Deuxième décrassage	7,30
Chargement des additions finales	8,00

Pendant la fusion, le bain n'est pas homogène, car, dans les régions qui fondent le plus rapidement, se forment des poches renfermant du métal liquide qui dissout les parois et se mélange avec elles. Ce n'est qu'après l'achèvement complet de la fusion qu'on peut prendre une éprouvette indiquant sensiblement la composition moyenne du métal. Par la suite, en raison du bouillonnement dû à la décarburation, on peut considérer le bain comme homogène et se

baser sur les prises de métal et de scorie jusqu'au moment de la coulée. Seules, les périodes voisines d'un décrassage ou d'une addition ne peuvent donner d'indications bien exactes, avant que la diffusion des éléments rajoutés soit complète.

TEMPS EN HEURES	MÉTAL					SCORIE						
	C	Si	Mn	Ph	FeO	SiO^2	Al^2O^3	MgO	CaO	P^2O^5	FeO	MnO
	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100
1h. Charge finie.	1,08	0,302	0,922	0,280	0,000							
5h. Fusion finie.	0,55	0,12	0,35	0,24	0,06	25,00	0,90	4,10	23,5	3,2	27,8	15,5
5h30'. — .	0,39	0,08	0,27	0,22	0,09	19,70	0,80	4,30	35,3	4,2	21,5	14,2
6h. — .	0,24	0,06	0,24	0,18	0,12	14,20	0,70	4,50	45,1	5,5	16,9	13,1
6h30'. — .	0,13	0,05	0,22	0,14	0,18	10,80	0,60	4,70	49,4	6,8	15,4	12,3
7h. 1er décrassage	0,09	0,04	0,20	0,10	0,22	7,70	0,50	5,00	52,5	8,1	14,5	11,7
7h30'. 2e —	0,06	0,03	0,19	0,06	0,28	6,20	0,50	6,20	50,8	7,6	21,0	7,7
8h. Additions....	0,06	0,03	0,18	0,04	0,28	5,90	0,50	6,40	45,5	7,4	19,3	15,0
8h5'. Coulée......	0,11	0,03	0,40	0,042	0,02	5,50	0,40	6.80	39,0	5,4	15,9	27,0

Pendant le chargement, on maintient une atmosphère neutre, ou plutôt réductrice, en fermant partiellement la vanne d'accès de l'air, pour compenser les rentrées qui s'effectuent par les portes que l'on ouvre fréquemment. Aussitôt après le chargement, on lute ces portes avec de la poussière, et on entretient dans le laboratoire un milieu oxydant ; la combustion des gaz est ainsi complète et économique, et l'oxydation du métal commence pendant sa fusion. La fonte, qui se liquéfie la première, subit la majeure partie de cette action oxydante ; ses impuretés réduisent les métaux plus purs qu'elle, qui s'oxydent, de sorte que le bain initial présente une composition déjà très différente de la composition moyenne de la charge :

	Pour 100
C..	0,55
Si..	0,12
Ph..	0,24
Mn..	0,35
FeO..	0,06

Composition du bain au moment des décrassages. — Une fois la fusion terminée, c'est par l'intermédiaire de la scorie que le bain s'oxyde ; d'abord très riche en oxydes métalliques, cette scorie se

sature de chaux, par dissolution de la castine déjà décarbonatée, et avec laquelle se combine l'anhydride phosphorique ; la composition du bain métallique est à ce moment :

	Pour 100
C	0,09
Si	0,04
Ph	0,10
Mn	0,20
FeO	0,22

Soit x le poids du métal à cet instant, y compris l'oxyde de fer dissous; l'oxydation s'est portée sur les poids suivants des divers éléments :

$$\text{C} \ : 20.000 \frac{1,089}{100} - x \frac{0,09}{100}$$

$$\text{Si} \ : 20.000 \frac{0,302}{100} - x \frac{0,04}{100}$$

$$\text{Ph} \ : 20.000 \frac{0,280}{100} - x \frac{0,100}{100}$$

$$\text{Mn} \ : 20.000 \frac{0,922}{100} - x \frac{0,200}{100}$$

Fer dissous dans le bain sous forme de FeO :

$$x \cdot \frac{0,22}{100} \cdot \frac{55,9}{71,9} ;$$

Fer passé dans la scorie, sous forme de FeO : environ 152 kilogrammes, ayant donné 230 kilogrammes de FeO.

Le poids x est égal à la différence entre le poids de la charge et la somme des poids oxydés des divers éléments. On en déduit :

$$x = 19.420 \text{ kilogrammes.}$$

		Kilogrammes
Poids brûlé de	carbone	200,4
—	silicium	52,7
—	phosphore	36,7
—	manganèse	144,4
—	fer (dans le bain)	33,0
—	fer (dans la scorie)	152,8
		620,0

La scorie se compose des éléments apportés par l'oxydation du métal, par la scorification de la chaux, par l'usure du garnissage; cette dernière atteint 250 kilogrammes par opération, dont 200 environ jusqu'au premier décrassage. La dolomie de garnissage renferme :

	Pour 100
MgO	36,5
CaO	57,0
SiO^2	3,5
(Al^2O^3 + Fe^2O^3)	3,0

Le poids total de la scorie est alors 1.641^{kg},3, se décomposant comme suit:

ÉLÉMENTS	PROVENANCE			POIDS	COMPOSITION
	MÉTAL	CASTINE	GARNISSAGE	TOTAL	CENTÉSIMALE
	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	
SiO^2	112,6	5,5	7,0	125,1	7,70
Al^2O^3		5,0	3,0	8,0	0,50
MgO		7,5	73,0	80,5	5,00
CaO		802,5	114,0	916,5	52,50
P^2O^5	83,8			83,8	8,10
FeO	230,0	4,5	3,0	237,5	14,50
MnO	189,9			189,9	11,70
	616,3	825,0	200,0	1641,3	100,00

Le fer peut exister dans la scorie à divers degrés d'oxydation, Fe^2O^3 en particulier, mais toujours en faible proportion relativement au protoxyde. Le décrassage dure douze minutes ; il est suivi d'une addition de 100 kilogrammes de castine pulvérisée, qui achèvera la déphosphoration en se mélangeant à la scorie qui restait sur le métal (250 kilogrammes environ).

Le métal renferme à ce moment :

	Pour 100
C	0,06
Si	0,03
Ph	0,060
Mn	0,19
FeO	0,28

Son poids, y compris l'oxyde de fer dissous, est :

$$y = 19.365 \text{ kilogrammes.}$$

Les poids des divers éléments oxydés depuis le premier décrassage jusqu'à ce moment sont :

			Kilogrammes
Poids brûlé de		carbone	5,8
—	—	silicium	1,9
—	—	phosphore	7,7
—	—	manganèse	1,9
—	—	fer (dans le métal)	11,4
—	—	fer (dans la scorie)	41,3
			70,0

La scorie se compose de ce qui en subsiste après le premier décrassage et des éléments fournis par le métal, par la chaux et par le garnissage, qui s'est usé de 30 kilogrammes environ. Son poids total est de 412kg,2 :

ÉLÉMENTS	PROVENANCE				POIDS TOTAL	COMPOSITION CENTÉSIMALE
	ANCIENNE SCORIE	MÉTAL	CASTINE	GARNISSAGE		
	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogr.	
SiO^2	20,4	4,0	0,35	1,0	25,8	6,2
Al^2O^3	1,3		0,35	0,5	2,2	0,5
MgO	13,9		0,5	11,0	25,4	6,2
CaO	138,7		53,5	17,0	209,2	50,8
P^2O^5	13,8	17,6			31,4	7,6
FeO	32,5	53,0	0,3	0,5	86,3	21,0
MnO	29,4	2,5			31,9	7,7
	250,0	77,1	55,0	30,0	412,2	

Un décrassage rapide élimine cette scorie, plus fluide que la première, car elle contient moins de chaux et plus d'oxydes métalliques; il n'en reste sur le bain qu'une couche très mince, 200 kilogrammes environ.

Aussitôt après ce décrassage, on ajoute 100 kilogrammes de spiegel à 12 0/0, qui désoxyde le bain partiellement et le protège jusqu'au moment de l'addition finale, pendant qu'on achève de le réchauffer jusqu'à la température nécessaire pour la coulée.

Composition du bain au moment des additions finales. — Cette addition de spiegel fait remonter immédiatement la teneur du bain en manganèse et en carbone, employés d'ailleurs tout de suite à réduire l'oxyde de fer dissous dans le métal. En effet, les 19.365 kilogrammes de métal, à 0,28 0/0 FeO, renferment un poids d'oxygène égal à :

$$19.365 \cdot \frac{0,28}{100} \cdot \frac{16}{71,9} = 12^{kg},05\,;$$

l'effet de 100 kilogrammes de spiegel est indiqué par les nombres suivants :

	POIDS DANS 100 kilogrammes DE SPIEGEL	OXYGÈNE NÉCESSAIRE pour LEUR COMBUSTION
	Kilogr.	Kilogr.
Si...	0,30	0,35
Mn..	12,10	3,55
C....	5,30	7,05
		10,95

Ce qui montre que la totalité des éléments réducteurs du spiegel doit être oxydée. Comme d'ailleurs, pendant cette période, la flamme est oxydante, le métal est encore oxydé au moment où l'on fait les additions finales, il est alors suffisamment chaud pour assurer une fusion rapide de ces additions, et pouvoir être coulé en poche. Sa composition est à cet instant :

	Pour 100
C..	0,060
Si..	0,030
Ph..	0,040
Mn..	0,18
FeO..	0,28

Son poids total est d'environ 19.425 kilogrammes.

Raffinage. — Production d'acier doux. — Les additions finales comportent :

90 kilogrammes de ferromanganèse à 80 0/0;
100 kilogrammes de spiegel à 12 0/0;

leur fusion dure cinq minutes; leur composition est :

	Ferromanganèse Pour 100	Spiegel Pour 100
Si	0,45	0,30
C	7,20	5,30
Mn	80,00	12,10
Ph	0,12	0,08

Après raffinage et durcissement, l'analyse du métal indique :

	Pour 100
C	0,11
Si	0,03
Ph	0,042
Mn	0,40
FeO	0,02

Son poids est voisin de 19.560 kilogrammes. Les additions ont eu un triple but : absorption de la majeure partie de l'oxygène uni au métal; — enrichissement de l'acier en divers corps; — protection du bain contre l'oxydation par la flamme et la scorie, pendant la fusion de ces additions mêmes.

Le poids d'oxygène du métal qui a été absorbé par les additions réductrices est :

$$19.425 \cdot \frac{0,28}{100} \cdot \frac{16}{71,9} - 19.560 \cdot \frac{0,02}{100} \cdot \frac{16}{71,9} = 11^{kg},20.$$

Les poids des éléments réducteurs apportés par la double addition du spiegel et du ferromanganèse sont :

	Si	C	Mn
	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes
Ferromanganèse	0,405	6,480	72,0
Spiegel	0,30	5,30	12,1
	0,705	11,780	84,1

Sur lesquels le métal à raffiner a conservé à l'état métallique :

Si.................................... = néant

Mn : $19.560 \cdot \frac{0,40}{100} - 19.425 \cdot \frac{0,18}{100}$.......... = $43^{kg},3$

C : $19.560 \cdot \frac{0,11}{100} - 19.425 \cdot \frac{0,06}{100}$........... = $9^{kg},87$

La différence entre le poids des réducteurs ajoutés et le poids des réducteurs restés dans le bain à l'état métallique a donc été employée à la désoxydation et à la protection du métal ; cette différence était susceptible de se combiner avec $15^{kg},20$ d'oxygène ainsi décomposés :

	POIDS DE RÉDUCTEUR	POIDS D'OXYGÈNE CORRESPONDANT
	Kilogrammes	Kilogrammes
Si..................	0,705	0,80
C....................	(11,780 — 9,87)	2,55
Mn..................	(84,10 — 43,30)	11,20
		15,20

La désoxydation du métal comportait l'absorption de $11^{kg},20$ d'oxygène ; l'excès, soit 4 kilogrammes, a été fourni par la scorie peroxydée qui s'est trouvée ramenée à un degré d'oxydation moindre, compatible avec le degré de carburation du métal.

Au moment de la coulée en poche, la scorie est composée : de la crasse qui subsiste après le second décrassage, du poids de garnissage corrodé (20 kilogrammes environ), et des oxydes provenant de la réduction du bain ou de son oxydation directe par les gaz de chauffage. Vu la présence des réducteurs, le fer n'est plus attaqué durant cette période ; la scorie est d'ailleurs très basique et ferrugineuse ; toute l'oxydation se porte sur les réducteurs ajoutés. Le poids total de la scorie, $290^{kg},5$, se décompose ainsi :

ÉLÉMENTS	PROVENANCE				POIDS TOTAL	COMPOSITION CENTÉSIMALE
	ANCIENNE SCORIE	MÉTAL et 1re addition de spiegel	GARNISSAGE	ADDITION		
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	
SiO^2......	12,4	0,65	0,7	1,5	15,3	5,5
Al^2O^3.....	1,0		0,3		1,3	0,4
MgO......	12,4		7,3		19,7	6,8
CaO......	101,6		11,4		113,0	39,0
P^2O^5......	15,2				15,2	5,4
FeO......	42,0		0,3		42,3	15,9
MnO......	15,4	15,65		52,65	83,7	27,0
	200,0	16,30	20,0	54,15	290,5	100,0

Raffinage. — Production d'acier dur. — L'addition est unique, et comporte 1.300 kilogrammes de spiegel à 12 0/0; après raffinage et durcissement, le métal présente à l'analyse :

	Pour 100
C..	0,36
Si..	0,04
Ph..	0,043
Mn..	0,78
FeO..	0,008

Son poids est voisin de 20.690 kilogrammes. Le poids de l'oxygène du métal qui a été absorbé par les additions réductrices est de 11kg,70; les poids d'éléments réducteurs introduits par l'addition de spiegel sont :

	Kilogrammes
Si..	3,9
C..	68,9
Mn..	157,3

Sur lesquels le métal a conservé à l'état métallique :

	Kilogrammes
Si..	2,5
C..	63,2
Mn..	122,2

La fusion de l'addition a duré 12 minutes, de sorte qu'une partie de ses réducteurs a servi à protéger le bain contre l'oxydation pendant ce laps de temps. Les réducteurs employés à désoxyder et à protéger le bain ont absorbé $19^{kg},40$ d'oxygène se répartissant ainsi :

	POIDS DE RÉDUCTEUR	POIDS D'OXYGÈNE CORRESPONDANT
		Kilogrammes
Si...........	(3,9 — 2,5)	1,60
C............	(68,9 — 63,2)	7,56
Mn...........	(157,3 — 122,2)	10,24
		19,40

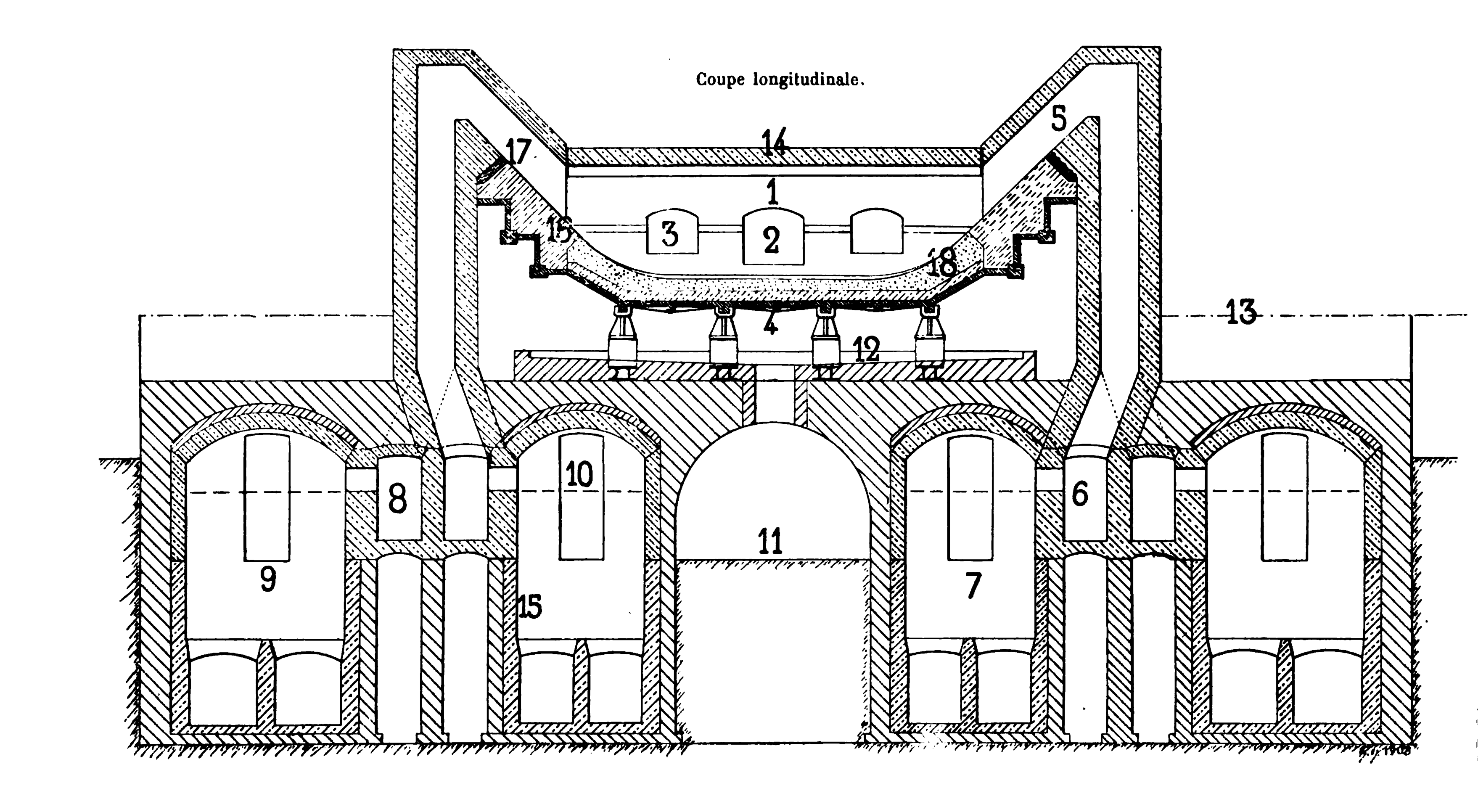
La désoxydation propre du métal comportait l'absorption de $11^{kg},70$ d'oxygène ; l'excès, soit $7^{kg},70$, a été fourni par la scorie peroxydée.

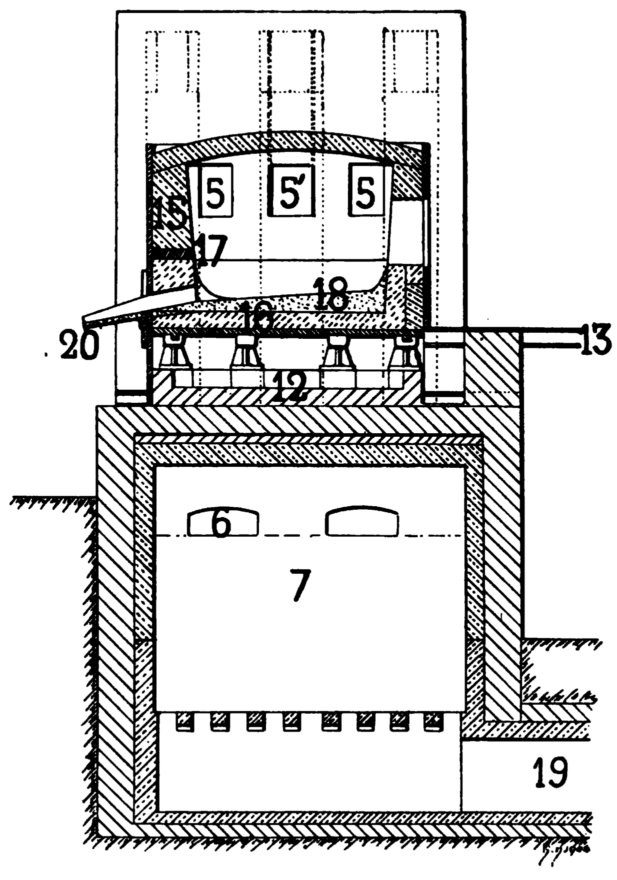
La composition de la scorie est sensiblement la même que celle qui résulte de la recarburation pour acier doux.

Balance de chaleur. — Nous considérerons le système formé par le métal à affiner, la castine, les additions réductrices, et le four lui-même limité aux vannes d'inversion, et nous le suivrons depuis le commencement jusqu'à la coulée en poche ; la balance de chaleur de l'opération sera l'équation indiquant l'égalité entre la somme des quantités de chaleur reçues et celle des quantités de chaleur absorbées.

Le four étant pris en marche normale, sa chaleur latente reste invariable d'une coulée à l'autre ; nous pourrons supposer que la température moyenne du four est la même au commencement de la charge et au moment de la coulée ; cette hypothèse est très sensiblement exacte, si l'arrêt pendant lequel on répare la sole, entre deux coulées consécutives, est assez court. Il n'y aura donc pas à tenir compte de la chaleur reçue ou restituée par les chambres de récupération, puisque la somme algébrique de ces quantités est nulle.

La chaleur latente du métal, chargé à une température de 20°, est


Coupe longitudinale.
14
1
3
2
17
16
18
5
4
12
13
8
10
6
11
9
15
7

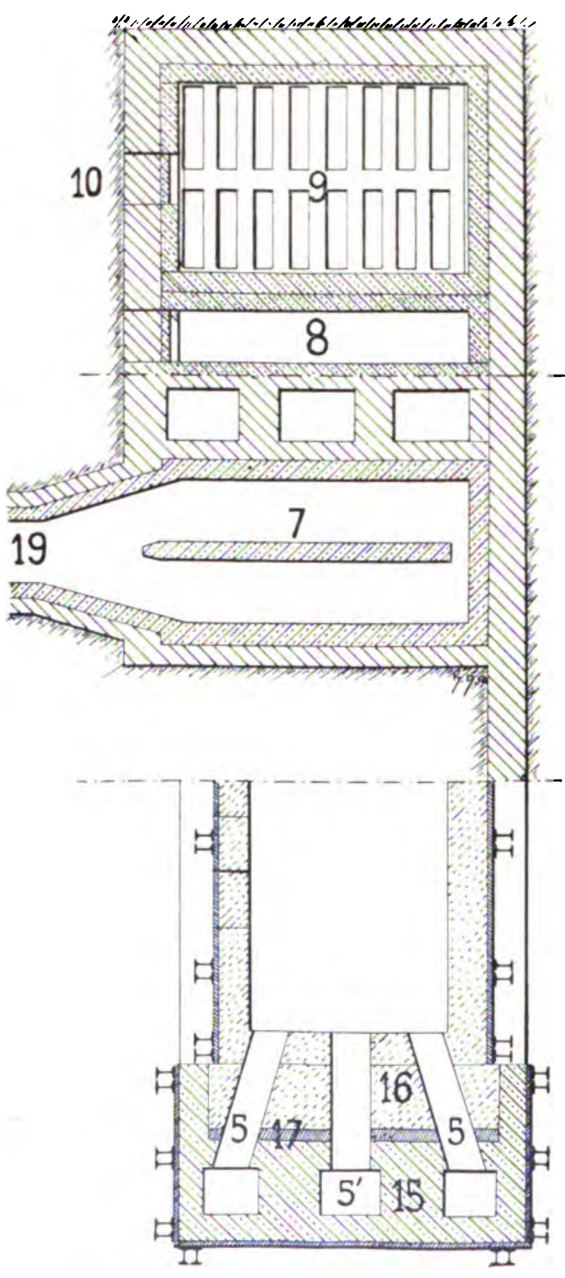


Coupe transversale.

Four Martin basique.

1. Laboratoire. — 2. Porte de décrassage. — 3. Portes de chargement. — 4. Armature de la sole. — 5. Carneaux à gaz. — 5'. Carneaux à air. — 6. Chambres de sûreté des chambres à gaz. — 7. Chambres à gaz. — 8. Chambres de sûreté des chambres à air. — 9. Chambres à air. — 10. Portes des chambres. — 11. Galerie de décrassage. — 12. Cuvette de sûreté. — 13. Plancher des fours. — 14. Briques de dinas. — 15. Brique de silice ordinaire. — 16. Brique de magnésie. — 17. Fer chromé. — 18. Pisé de dolomie. — 19. Carneaux allant à la cloche. — 20. Chenal de coulée.

Four Martin basique.



Coupes horizontales.

de 3 calories par kilogramme, c'est-à-dire presque négligeable ; la castine, chargée à la même température, apporte 4 calories par kilogramme. Les additions manganésées sont ajoutées froides, ayant la même chaleur latente de 3 calories par kilogramme.

L'air arrive à la vanne d'inversion à 20°, sa chaleur spécifique étant 0,237.

Le gaz entre dans la cloche à une température moyenne de 340°, apportant 80 calories par kilogramme.

Les autres quantités de chaleur positives du système prennent naissance dans le four même ; ce sont :

1° La chaleur de combustion du gaz ;

2° La chaleur d'oxydation des éléments métalliques, provenant de la charge initiale ou des additions, C, Si, Mn, Fe et Ph ;

3° La chaleur de formation des silicates et phosphates de la scorie, très légèrement exothermique et par suite négligeable.

Les causes d'absorption de chaleur sont aussi multiples :

1° La fusion du métal et son chauffage jusqu'à la température de la coulée est la principale ; à cette température (1.660°), la chaleur latente de l'acier est 385 calories ;

2° La décomposition de la castine absorbe 940 calories par kilogramme de CO^2 dégagé ; sa déshydratation, 1.060 calories par kilogramme de vapeur d'eau. Il n'y a pas lieu de tenir compte de leur dissociation, car, si elle se produit, la combinaison se reforme au contact de l'air, dans le laboratoire ou dans les chambres ;

3° La scorie comprend trois parties, portées à des températures différentes ; le premier décrassage expulse environ 1.390 kilogrammes à la température de 1.380°, emportant 315 calories par kilogramme ; le second décrassage fait sortir 210 kilogrammes à 1.640°, emportant 395 calories par kilogramme ; enfin les 290 kilogrammes restant avec le métal (nous supposerons une fabrication d'acier doux) sont à 1.660°, et conservent une chaleur latente de 400 calories ;

4° Les fumées qui s'échappent à la cheminée sont composées du gaz de chauffage, de l'air secondaire de la combustion (diminué de la quantité d'oxygène fixé par le bain dans l'affinage), enfin de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène provenant de la décomposition de la castine au contact du fer ; leur température moyenne à la sortie des vannes d'inversion est 450°, et elles emportent ainsi 107 calories par kilogramme ;

5° Le four absorbe enfin une part notable de la chaleur dispo-

nible, par rayonnement et par convection. Comme la température des parois externes est peu influencée par les variations de la température interne, ces pertes sont sensiblement constantes.

Poids de gaz nécessaire pour l'opération. — La consommation aux gazogènes a été de 4.950 kilogrammes de houille demi-grasse, dont la gazéification était activée par un injecteur à vapeur. Dans ces conditions, 1 kilogramme de houille à 11 0/0 de cendres a donné 4kg,800 de gaz, ayant la composition pondérale suivante :

	Pour 100
CO	26,0
CO^2	5,0
H	0,5
Hydrocarbures	4,0
Az	64,5

Un mètre cube de ce gaz pèse 1kg,172 ; sa puissance calorifique est 960 calories par mètre cube, soit 820 calories par kilogramme. Le poids total de gaz brûlé est de 23.760 kilogrammes.

Poids d'air nécessaire. — Le poids d'air se déduit de la composition du gaz, dans laquelle nous supposerons que tous les hydrocarbures sont sous la forme $(CH^4)^n$; dans ces conditions, on trouve les nombres suivants :

ORPS	POIDS DANS LE GAZ	POIDS D'OXYGÈNE nécessaire POUR LA COMBUSTION	POIDS D'AIR CORRESPONDANT
	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes
CO	0,270	0,1543	0,753
H	0,005	0,0400	0,190
CH^4	0,040	0,1600	0,760
Az	0,635		
	1,000	0,3543	1,638

Nous supposons l'air uniquement constitué d'oxygène et d'azote.

Pour que la combustion soit complète, et qu'il ne reste pas de gaz non brûlé dans les fumées, ce qui constituerait une perte, il est néces-

saire d'introduire dans le four un léger excès d'air ; l'affinage exige, en outre, une atmosphère oxydante, de sorte qu'il est indispensable d'augmenter aussi de ce chef la quantité d'air chimiquement nécessaire pour la combustion. L'excès total est de 6 0/0 du poids théorique, y compris les rentrées d'air involontaires; la quantité d'air qui passe dans le four est donc :

$$23.760 \times 1,683 \times 1,06 = 42.400 \text{ kilogrammes.}$$

Admettons que la perte au feu de la castine consiste exclusivement en acide carbonique; les 1.600 kilogrammes de castine, à 45 0/0 de perte au feu, ont donné 720 kilogrammes de gaz carbonique.

Quels qu'aient été l'ordre et les divers états d'oxydation du bain, l'oxygène absorbé se retrouve intégralement dans l'oxyde de fer en suspension après raffinage, ou allié aux divers éléments, Si, Mn, Ph, Fe, qui sont passés dans la scorie.

OXYDATION DES DIVERS ÉLÉMENTS DE LA CHARGE

	FER (DANS LE MÉTAL)	FER (DANS LA SCORIE)	Si	C	Mn	Ph
Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Métal initial.. 20.000	+ 3,90	+ 194,10	+60,40	+217,80	+184,40	+56,00
Spiegel....... 200			+ 0,60	+ 10,60	+ 24,20	+ 0,16
Ferromangan. 90			+ 0,40	+ 6,50	+ 72,00	+ 0,11
A déduire, métal final.... 19.560			— 5,87	— 21,51	— 78,24	— 8,21
Poids de corps oxydé.	3,90	194,10	55,53	213,39	202,36	48,07
Poids d'oxygène employé pour l'oxydation	0,87	43,13				
	44,00		63,46	284,52	58,68	62,02

Le poids d'oxygène fixé par le bain est donc 228^{kg},16.

La combustion du carbone au contact des gaz de chauffage a augmenté leur poids du poids même du carbone brûlé, soit 213^{kg},39.

Les corps qui entrent en jeu sont : le métal de la charge, les additions réductrices, la castine, la partie corrodée du garnissage, le gaz

et l'air ; les transformations qu'ils subissent n'altèrent en rien le poids du système qu'ils constituent.

SYSTÈME DES CORPS EN RÉACTION DANS L'OPÉRATION ÉTUDIÉE

ÉTAT INITIAL		ÉTAT FINAL		
		MÉTAL	SCORIE	FUMÉES
Métal (charge)....	20.000 k.	19.559	518	213
— (additions).	290			
Castine..........	1.600		880	720
Garnissage.......	250		250	
Gaz.............	23.760			23.760
Air.............	42.400	1	227	42.172
	88.300	19.560	1.875	66.865

Rendement calorifique. — Le rendement de l'opération Martin, considérée comme fusion, est le rapport entre la quantité de chaleur qui a servi à élever la température du métal et la quantité de chaleur totale introduite dans le four. 20.290 kilogrammes de métal chargés à 20° (chaleur latente de 3 calories par kilogramme) ont produit 19.560 kilogrammes à 1.660° (chaleur latente de 385 calories par kilogramme), ce qui correspond à :

$$19.560 \times 385 - 20.290 \times 3 = 7.530.600 \text{ calories;}$$

la quantité de chaleur totale fournie ayant été de 24.674.200 calories, le rendement atteint 30,3 0/0. Il est légèrement supérieur à celui de la conversion (28 0/0), malgré la grande longueur de l'opération et les pertes par transmission ; cela tient à l'emploi d'un combustible gazeux (bien qu'il ait déjà subi par sa préparation même une diminution sensible sur la puissance calorifique de la houille) et à la récupération d'une très forte proportion de la chaleur emportée par les fumées après leur action sur le métal.

BALANCE DE CHALEUR

QUANTITÉS POSITIVES	Kilogrammes				QUANTITÉS NÉGATIVES	Kilogrammes			
Métal (charge)	20.000	×	3 =	60.000	Métal	19.560	×	385 =	7.030.000
— (additions)	290	×	3 =	900	Castine (décomposition)	720	×	940 =	676.800
Castine	1.600	×	4 =	6.400	Scorie 1er décrassage	1.390	×	315 =	437.800
Air	42.400	×	4 =	169.600	— 2e —	210	×	395 =	82.900
Gaz	23.760	×	80 =	1.900.800	Scorie finale	290	×	400 =	116.000
Combustion du gaz	23.760	×	820 =	19.483.200	Fumées	66.865	×	107 =	7.154.600
— Fe	198	×	1.350 =	267.300	Pertes par rayonnement }				
— Si	55,53	×	7.830 =	434.800	Convection }			=	8.675.500
— C	213,39	×	8.080 =	724.200	Dissociation des gaz }				
— Mn	202,36	×	1.730 =	350.100					
— Ph	48,07	×	5.760 =	276.900					
				24.674.200					24.674.200

ÉTUDE D'UNE OPÉRATION MARTIN ACIDE. — DÉCARBURATION COMPLÈTE

L'opération Martin acide diffère de l'opération basique par l'absence de castine dans la charge; la sole acide se combine très rapidement avec l'oxyde de fer qui prend naissance pendant la fusion; la perte en fer est donc plus forte, et l'affinage relativement plus lent, que dans le procédé basique. Néanmoins, la durée des coulées n'en est pas augmentée, car le bain peut être raffiné aussitôt après décarburation, puisque la période de déphosphoration n'existe pas. Quand on fabrique de l'acier dur, il est même inutile d'effectuer une décarburation complète; on fait ainsi une économie de temps, de houille et de recarburants.

Composition de la charge. — La charge de 10.000 kilogrammes a la composition suivante :

	C Pour 100	Si Pour 100	Ph Pour 100	S Pour 100	Mn Pour 100
Hématite : 2.000 kilog....	3,55	1,80	0,040	0,040	1,25
Chutes d'acier : 8.000 kilog.	0,15	0,08	0,050	0,040	0,50

L'affinage a duré huit heures :

	Heures
Commencement de la charge	0,00
Fin de la charge	1
Fin de la fusion	5,30'
Addition de 200 kilog. de battitures	6
— 100 — —	7
— 50 — —	7,30'
Décrassage superficiel, chargement des additions finales.	8
Coulée	8,05'

L'oxydation s'est portée, dès le commencement de la fusion, sur le manganèse et le fer, dont les oxydes s'unissent à la silice naissante et à la sole; le garnissage perd 168 kilogrammes dans l'opération. Les battitures, comportant surtout des oxydes de fer à divers degrés, n'apportent que peu d'éléments scorifiables; elles renferment 60 0/0 de fer.

TEMPS EN HEURES		MÉTAL						SCORIE			
		C	Si	Ph	S	Mn	FeO	SiO^2	(Al^2O^3, CaO, MgO)	FeO	MnO
		P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100	P. 100
1h	Charge finie....	0,83	0,40	0,048	0,040	0,65	0,00				
5h30'	Fusion finie....	0,45	0,25	»	»	0,22	0,03	45,0	0,90	31,1	23,0
6h	Addition de 200k battitures.....	0,32	0,20	»	»	0,20	0,05	46,5	»	32,3	20,4
6h30'		0,24	0,16	»	»	0,14	0,08	48,0	1,00	31,1	20,1
7h	Addition de 100k battitures.....	0,14	0,12	0,049	»	0,10	0,15	50,4	»	29,2	19,5
7h30'	Addition de 50k battitures.....	0,09	0,09	0,049	»	0,09	0,23	52,3	»	28,8	17,7
8h	Additions finales.	0,05	0,07	»	»	0,08	0,25	53,3	1,10	»	16,8
8h05'	Coulée.........	0,09	0,08	0,050	»	0,35	0,015	49,1	1,00	27,5	22,4

L'oxydation du bain a porté sur les poids suivants des divers éléments :

Carbone..........................	79	kilogrammes
Silicium..........................	34	—
Manganèse........................	58	—
Fer (en FeO dans le métal).........	19	—
Fer (en FeO dans la scorie).........	98	—

Le poids total du métal, y compris le fer des battitures et l'oxyde dissous, s'élève à 9.935 kilogrammes.

La scorie se compose des produits de l'oxydation du métal et des éléments acides de la sole :

ÉLÉMENTS	PROVENANCE		POIDS TOTAL	COMPOSITION CENTÉSIMALE
	MÉTAL ET BATTITURES	GARNISSAGE		
	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	
SiO^2...............	73	162	235	53,30
Al^2O^3, CaO, MgO.....		5	5	1,10
FeO...............	127	1	128	28,80
MnO...............	75		75	16,80
	275	168	443	100,00

L'oxyde Fe^2O^3 n'existe pas dans les scories d'opérations acides, car, à haute température en présence des réducteurs et de la silice en proportion dominante, les oxydes supérieurs du fer sont ramenés à l'état de protoxyde.

On se débarrasse partiellement de la scorie avant de faire les additions, car, en raison de son acidité et de son état d'oxydation, elle absorberait inutilement une proportion notable du manganèse ajouté comme réducteur.

Raffinage. — L'addition finale comporte 80 kilogrammes de ferromanganèse à 80 0/0; le métal, dont le poids est 9.970 kilogrammes, présente après leur fusion la composition suivante :

C	0,09
Si	0,08
Ph	0,050
Mn	0,35
FeO	0,015

Les additions réductrices ont enlevé au bain 5kg,18 d'oxygène. La répartition des réducteurs du ferromanganèse s'est effectuée ainsi :

	POIDS TOTAL	COMBINÉ AVEC LE MÉTAL	COMBINÉ AVEC L'OXYGÈNE	POIDS D'OXYGÈNE ABSORBÉ
	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes	Kilogrammes
Si	0,36	0,36		
C	5,76	3,98	1,78	2,37
Mn	64,00	26,86	37,14	10,75
				13,12

Il est à remarquer que l'augmentation de la teneur du métal en silicium est due en partie à l'action des réducteurs de cette addition, carbone et manganèse, sur la scorie siliceuse.

Sur les 13kg,12 d'oxygène absorbés par les éléments du ferromanganèse, 5kg,18 ont été fournis par le métal, et 7kg,94 ont ramené la scorie à un degré d'oxydation moindre, en protégeant le bain contre l'influence oxydante de la flamme.

ÉTUDE D'UNE OPÉRATION MARTIN ACIDE
DÉCARBURATION INCOMPLÈTE

La production d'acier dur sur sole acide par décarburation réduite nécessite une charge initiale très réductrice, qui, par la fusion, reste assez dure pour que l'affinage puisse être exécuté sans élimination complète du carbone. Il faut chercher à se débarrasser du silicium en conservant le carbone ; aussi convient-il d'opérer rapidement, et de réduire les additions de battitures, afin que les divers éléments s'oxydent autant que possible suivant l'ordre de leurs affinités chimiques ; on évitera une température trop élevée, qui augmente la tendance à la combustion du carbone en favorisant la réduction de la silice et la conservation du silicium.

La charge, de 10.000 kilogrammes, a la composition suivante :

	C	Si	Ph	S	Mn
Kilogrammes	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Hématite......... 3.500	3,55	1,80	0,030	0,04	1,25
Chutes d'acier dur. 6.500	0,25	0,09	0,040	0,04	0,60

L'affinage a duré sept heures :

Commencement de la charge..................	0,00
Fin —	1,00
Fin de la fusion..............................	5,30'
Addition de 100 kilos de battitures	6,30'
— 50 — —	7,00
Décrassage superficiel, additions finales........	7,30'
Coulée...	7,40'

COMPOSITION DU BAIN PENDANT L'AFFINAGE

	MÉTAL					SCORIE			
	C	Si	Ph	Mn	FeO	SiO^2	(Al^2O^3, CaO, MgO)	FeO	MnO
	P. 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
1h	1,38	0,69	0,036	0,87	0,00				
5h30'	0,95	0,52	»	0,42	0,03	43,5	1,00	23,1	33,0
6h	0,65	0,36	»	0,36	0,04	48,6	»	20,0	30,4
6h30'	0,48	0,24	0,037	0,30	0,06	52,0	»	19,9	27,1
7h	0,36	0,15	»	0,20	0,10	53,3	»	19,7	26,0
7h30'	0,26	0,09	0,038	0,15	0,12	55,1	»	19,2	24,7
7h40'	0,35	0,12	0,040	0,42	0,005	48,8	0,90	25,5	24,8

L'addition finale se compose de 400 kilogrammes de spiegel à 12 0/0; comme dans l'exemple précédent, et dans une proportion encore plus considérable, l'enrichissement du métal en silicium est dû à une réduction de la scorie très siliceuse par le manganèse et le carbone des additions finales.

CHAPITRE XI

MATIÈRES PREMIÈRES EMPLOYÉES POUR L'AFFINAGE SUR SOLE

COMPOSITION DES CHARGES

La plupart des éléments traités dans une usine métallurgique et des déchets qui en résultent peuvent être utilisés au four Martin, quelles que soient leurs teneurs en carbone, silicium, manganèse, pourvu que la proportion de soufre ne soit pas exagérée (ainsi que celle du phosphore pour une sole acide) et que l'on n'y rencontre pas de cuivre ni d'étain.

La composition de la charge est donc très variable : chutes de laminoirs, bouts de lingots, scraps, loups divers, ferrailles de démolition, boccages, résidus de fabrications étrangères.

Sur les parcs d'approvisionnement, on dispose autant que possible des tas de matières de même qualité ; ces tas sont desservis par des voies étroites sur lesquelles circulent des trucks porteurs de caisses, si le chargement du four doit se faire à la main, ou de larges cuillers, si on opère le chargement mécaniquement. Les gros boccages sont déposés au voisinage d'une grue qui les élève au niveau de la plate-forme, puis chargés à la pelle. Le parc à ferrailles d'une batterie de plusieurs fours en ligne sera parallèle à la batterie, et recoupé par des voies transversales aboutissant à chacun des fours.

Les fontes de première fusion qu'emploie le four Martin acide sont des hématites en saumons, ou des fontes non phosphoreuses coulées généralement en coquille et cassées en plaques. La forme allongée des saumons est avantageuse pour l'empilage dans le four ; leur poids est d'environ 75 kilogrammes, sous 1 mètre de longueur. Quand on produit la fonte à l'usine même, on peut en couler de plus

longs, qu'on manie alors mécaniquement ; leur longueur est égale à la largeur du four. Les fontes ainsi traitées sont souvent des fontes Bessemer coulées à la halle des hauts-fourneaux lors des arrêts des convertisseurs, ou trop froides pour supporter la conversion. Les déchets de fonderie, jets, fonds de coulée, passent aussi au Martin.

Les usines qui produisent des fontes phosphoreuses pour convertisseurs basiques utilisent généralement pour leurs fours à sole les fontes coulées dans la halle pendant les arrêts ; l'excès de phosphore y est plutôt nuisible, mais leur faible teneur en silicium convient aux soles basiques. On n'introduit dans ces fontes que la quantité de phosphore apportée par le minerai, sans faire au haut-fourneau d'additions de scories de déphosphoration, qui, en temps ordinaire, sont indispensables pour les fontes de conversion.

Les fontes sont classées sur parc par tas séparés de fontes blanches, truitées ou grises ; on choisit les unes ou les autres suivant la charge et le métal à obtenir. Les deux dernières sortes s'emploient de préférence quand on doit pousser assez loin l'oxydation, pour obtenir du métal fin de très bonne qualité, parce que le silicium, en s'oxydant, favorise l'affinage tout en protégeant le fer.

Les boccages de toutes sortes qu'on repasse au four Martin sont ceux qui sont trop gros pour être refondus au cubilot, ou qui ne trouvent pas d'autre emploi ; ce sont des pièces hors de service : fragments de cylindres de laminoirs ou moulages quelconques. On peut employer des fontes blanches de n'importe quelle provenance, si elles ne sont pas sulfureuses. Les fontes phosphoreuses seront traitées sur sole basique, avec la quantité de castine convenable. La plupart des déchets de fonte du commerce sont phosphoreux, car ils proviennent de petits moulages pour lesquels la teneur en phosphore est indifférente.

Les fontes sont chargées dans les caisses, pesées, puis reprises et enfournées à la pelle. On doit veiller à ne pas charger de boccages sales, recouverts de sable par exemple, qui serait dangereux pour les soles, même acides. Les boccages d'acier ne doivent pas être confondus avec ceux de fonte, ce qui entraînerait des erreurs pour la dureté des coulées et la conduite de l'affinage ; le grain de la cassure permet de les reconnaître facilement. On ne les fera pas entrer pour une trop grande proportion dans la charge, car ils fondent très lentement ; il est bon de les placer au fond de la sole, pour qu'ils soient peu à peu dissous par le métal qui s'écoule à leur surface.

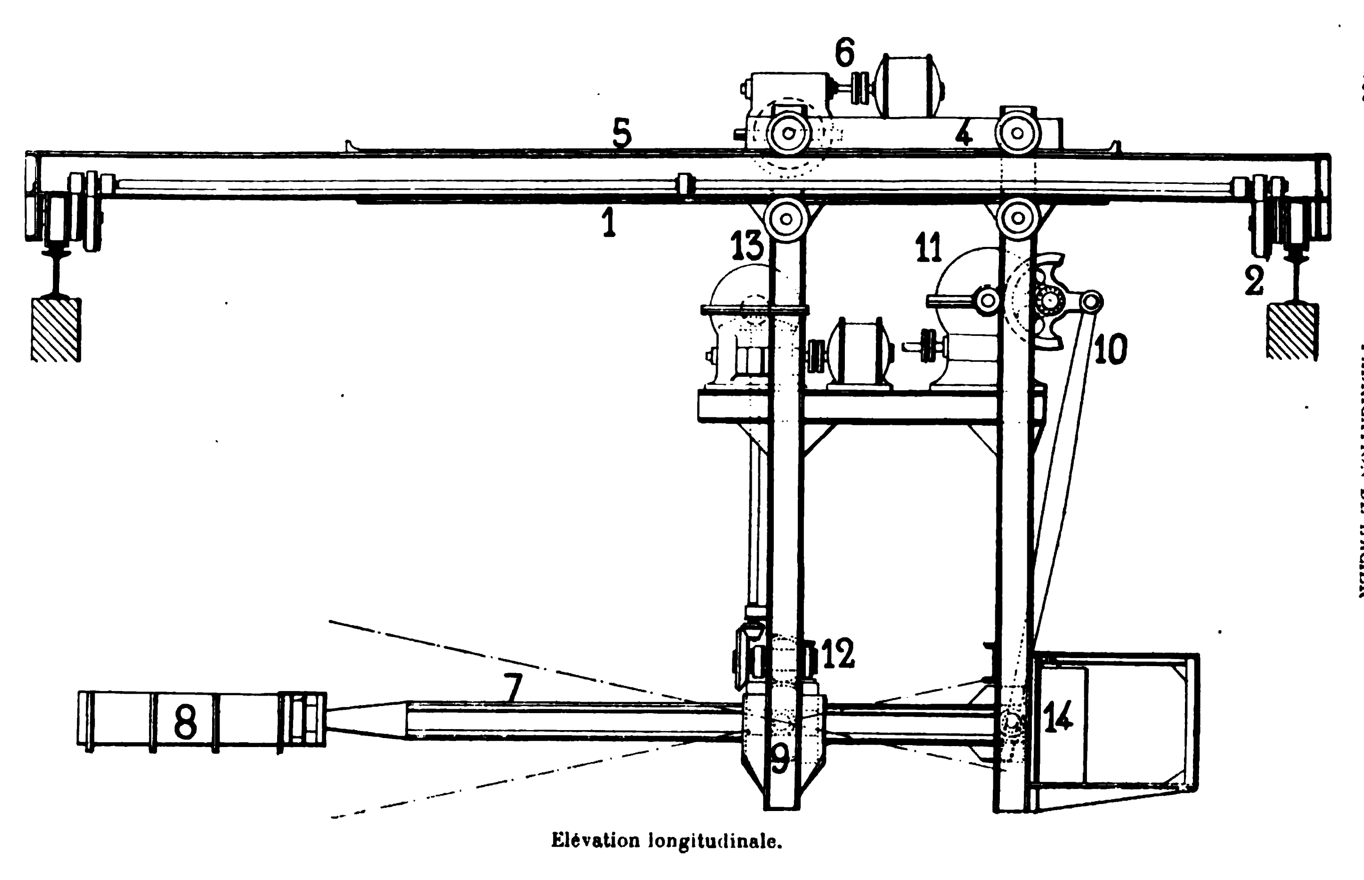
Les lingots rebutés pour une raison quelconque sont refondus au four Martin après avoir été cassés à dimensions convenables. Leur proportion dans la charge est réglée suivant celle des autres éléments ; on les place de préférence en face des brûleurs, où ils reçoivent en plein l'action du gaz et fondent assez rapidement. Les bouts de lingots qui ont reçu un jet de crasse à la fin de la coulée sont nettoyés grossièrement, car il est inutile de refondre la scorie.

Les chutes profilées constituent une partie importante de la charge des fours Martin travaillant pour des usines à laminoirs. On met à part les chutes d'acier dur, rails pour la plupart ; si on en charge une forte proportion, on peut diminuer d'autant la quantité de fonte, car ces chutes apportent beaucoup de manganèse et de carbone ; elles sont faciles à charger, exposent une grande surface à l'action des gaz et tiennent peu de place. Les chutes de petits profilés sont liées en paquets de 30 à 100 kilogrammes au moyen d'un feuillard ou d'un rond ; pour serrer chaque paquet, on le comprime entre deux mâchoires et on tord le lien à la tenaille.

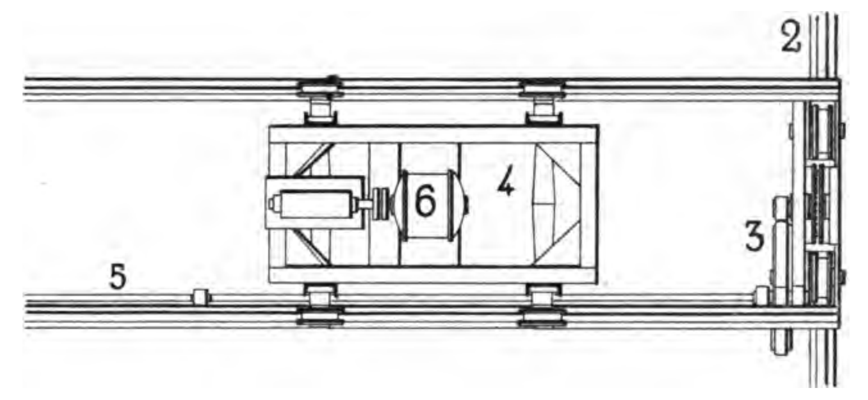
Les chutes de tôle dont l'épaisseur dépasse 8 millimètres sont assimilables aux gros profilés ; la flexibilité des tôles plus minces les rend encombrantes : on les met en paquets pour ne pas retarder le chargement. Leur maniement est toujours dangereux, car le cisaillage a créé des arêtes tranchantes qui peuvent blesser les ouvriers. Les tôles fines, déchets de tôles noires, sont fort encombrantes ; on les comprime généralement, pour les transporter, en paquets enveloppés dans une tôle mince, et on les charge alors comme des bouts de lingots. Quant aux tôles qui ont subi une préparation chimique, étamage ou zingage, il est de toute importance de les débarrasser complètement du métal étranger ; outre que la valeur de celui-ci n'est pas négligeable, sa présence dans l'acier ne donne que de mauvais résultats. Le nettoyage se fait chimiquement ou physiquement ; les chutes de tôles pour boîtes de conserves sont traitées par un bain de soude caustique, ou bien l'on recueille le métal étranger par simple fusion.

Dans le four, les tôles ne se comportent pas comme les profilés : elles s'écrasent, se recouvrent en tas compacts sur lesquels le gaz n'a que peu d'action ; il est bon de les disposer en couches minces au-dessus des grosses ferrailles. Comme elles offrent une grande surface à l'oxydation, une opération faite en chutes de tôles devient toujours très douce après fusion.

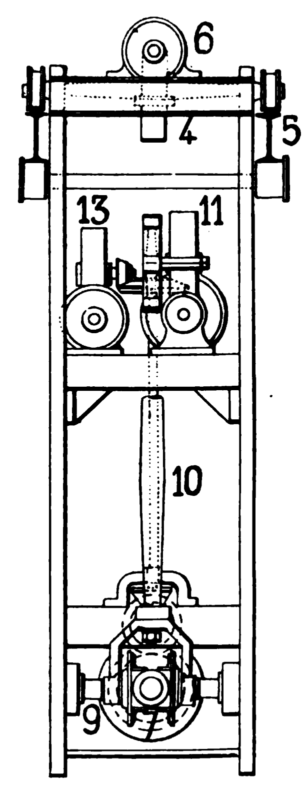
Les scraps, ayant été généralement coulés à terre, sont recouverts



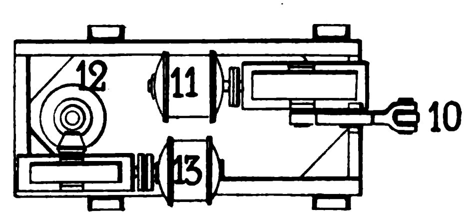
Elévation longitudinale.



Plan du pont et du truck porteur.



Élévation transversale.



Plan des électromoteurs d'inclinaison et de renversement.

Machine à charger à commande électrique et chemin de roulement supérieur.

1. Pont roulant déplaçant la machine parallèlement aux fours. — 2. Voie du pont roulant. — 3. Mécanisme de déplacement du pont roulant (commande à la main). — 4. Truck porteur à déplacement transversal. — 5. Voie du truck porteur. — 6. Électromoteur et mécanisme de déplacement du truck porteur. — 7. Bras de chargement. — 8. Cuiller de la charge. — 9. Axe de suspension du bras de chargement. — 10. Mécanisme d'inclinaison du bras. — 11. Électromoteur d'inclinaison du bras. — 12. Engrenages de renversement de la caisse. — 13. Électromoteur de renversement. — 14. Rhéostats des électromoteurs.

de scories dont il faut les débarrasser ; leurs formes souvent tourmentées en rendent le chargement difficile ; les fragments de briques qui peuvent y adhérer sont, à cause de leur alumine, particulièrement dangereux pour les soles basiques, sur lesquelles ils produisent un trou, avant même de fondre. On ne doit pas mettre beaucoup de scraps dans une opération, pour ne pas nuire à la qualité du métal final.

Lorsqu'on achète des ferrailles à l'extérieur, on reçoit des mitrailles diverses provenant d'ateliers de construction, débouchures, tournures, pièces rebutées, etc... On les dispose en tas, et on les charge dans les caisses avec des fourches. Leur fusion est généralement difficile ; de plus, comme elles sont souvent rouillées, le déchet de fer qui en résulte peut être important ; il est bon, en conséquence, de forcer la proportion de fonte dans la charge. Elles rouillent rapidement à l'air, et il vaut mieux n'en avoir que des stocks réduits, sinon on risque de retrouver des agglomérations de rouille fortement soudées, ayant perdu de leur valeur. Les tournures et copeaux d'ateliers présentent au plus haut degré cette propriété de s'agglomérer sous l'influence de l'humidité ; une faible proportion dans la charge y joue le rôle du minerai. Quand on n'en a que peu à consommer, on les réserve souvent pour additions éventuelles au cours d'une opération, lorsque, la fusion ayant été rapide, l'affinage ne se produit pas assez vite.

Les ferrailles d'origine quelconque, dites de chiffonnier, ne doivent être employées qu'avec circonspection : elles renferment fréquemment des métaux étrangers appliqués à leur surface (étamage, zincage, peinture au plomb ou au zinc), ou de petites pièces, telles que boutons, rivets, viroles en cuivre, menus objets en fonte malléable phosphoreuse, sur lesquels plane toujours quelque incertitude.

A l'origine du procédé Martin, la fonte entrait pour beaucoup dans la charge, et nécessitait la présence d'oxydants énergiques. On accélérait l'opération en chargeant du minerai, dont la fusion donnait, d'une part une scorie ferrugineuse, de l'autre de l'oxyde de fer qui se réduisait peu à peu au contact du carbone de la fonte. Ainsi envisagé, le procédé Martin tient quelque peu du procédé direct, en ce sens qu'il permet de transformer sans traitement préalable un poids important de minerai en acier fini ; il en possède aussi les inconvénients, perte énorme en fer, nécessité d'avoir des scories fortement oxydées, et diminution de la production des fours. La réduction du minerai au four à sole est plus coûteuse qu'au haut-

fourneau. Les procédés au minerai ont été récemment modifiés ; ils permettent un traitement économique avec des appareils de très grande capacité.

Les battitures, ou paillettes de laminoir, se composent presque exclusivement d'oxyde de fer, avec un peu de scorie provenant des fours de réchauffage ; on peut les agglomérer en briquettes avec de la chaux. Lorsque, en raison d'une fusion rapide, l'affinage ne s'est pas produit assez promptement, on doit conserver le bain en fusion pendant la fin de cet affinage sans élever la température; on aura donc tout avantage à décarburer au plus vite. On jette dans ce but des minerais en fragments à la surface du bain ; le départ de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique, tous deux oxydants d'ailleurs, produit une vive effervescence. La scorie s'éclaircit, s'enrichit en silice et en oxydes métalliques ; l'addition de minerai a pour ainsi dire amorcé la réaction, qui se continue alors rapidement. Les battitures et les tournures produisent le même effet que le minerai, tout en donnant moins de scorie ; mais on ne doit pas en forcer la proportion, à moins que l'on n'emploie les procédés spéciaux dans lesquels le minerai fait partie intégrante et normale de la charge, ce qui n'est pas le cas pour la plupart des aciéries, qui travaillent en chutes, ferrailles et déchets.

PRÉPARATION DES CHARGES

Le chargement à la main est une opération longue et pénible. Chaque fragment doit être pris, amené près du four, et vigoureusement projeté dans le laboratoire ; les blocs trop lourds pour être lancés à la main sont placés sur une pelle appuyée sur un rouleau que deux coussinets accrochés aux costières maintiennent devant la porte. Les caisses dans lesquelles on amène la charge à proximité du four sont en tôle de 5 millimètres, légères, mais fortement armées, avec un crochet à chaque coin ; elles contiennent de 600 à 1.000 kilogrammes. La charge est entièrement préparée sur les voies qui aboutissent à l'appareil d'élévation dans l'ordre inverse de la mise au four, de manière que, après leur élévation à la plateforme de chargement, ce soient les dernières caisses montées qu'on puisse vider les premières. La plateforme devra donc être assez vaste pour contenir sur wagonnets les caisses de toute une charge.

Quand on emploie des machines à charger, les caisses sont remplacées par des cuillers spéciales, de 800 à 1.500 kilogrammes de capacité, dont la longueur est inférieure à la largeur du four. Elles sont terminées par une queue à mortaise, permettant de les fixer rapidement au bout des bras porte-cuillers. On les fait généralement en acier moulé d'une seule pièce, parfois en tôle avec carcasse en cornières; dans ce dernier cas, elles sont moins rigides et travaillent beaucoup à la chaleur. Ces cuillers sont placées par deux ou trois sur des wagonnets faisant la navette entre le parc à ferrailles et le four, devant lequel ils circulent en longeant les portes, leur plateforme étant à peu près au niveau du seuil de ces portes. Il est inutile de botteler la petite ferraille, qu'on jette à même dans les cuillers, dont les dimensions sont suffisantes pour contenir les plus gros bouts de lingots. Avec un matériel nombreux, on peut préparer les charges à l'avance, de manière à n'être pas arrêté par un accident de machine quelconque.

Les appareils qui servent à élever les charges au niveau de la plateforme sont disposés en bout de la batterie de fours, ou en arrière de chaque four : une voie transversale les relie alors à ce dernier. Quand le chargement s'opère à la main, une grue à volée tournante prend sur les trucks du parc les caisses qu'elle dépose ensuite sur les wagonnets de la plateforme. Dans le chargement mécanique, les trucks avec leurs caisses sont poussés sur la cage d'un élévateur, puis circulent devant les fours. Dans le cas d'une batterie de fours, on place un élévateur à chaque extrémité et un appareil de secours intermédiaire, deux d'entre eux pouvant desservir la batterie tout entière.

CHAPITRE XII

ÉTUDE PRATIQUE DE L'AFFINAGE SUR SOLE

CHARGEMENT DU FOUR

Chargement à la main. — Ce procédé, le plus primitif et le plus simple, ne s'applique guère que pour des morceaux dont le poids est inférieur à 25 kilogrammes; il est lent et coûteux; il tend d'ailleurs à disparaître. Chaque fragment, pris sur les caisses avancées à proximité du four, est saisi et jeté par l'une des portes qu'on ouvre et qu'on referme aussitôt, pour diminuer autant que possible les pertes de chaleur par rayonnement et les rentrées d'air; on ne peut enfourner ainsi que des ferrailles longues, légères, chutes de profilés de trains marchands ou moyens, chutes de tôles cisaillées en bandes. On ne charge que par la porte voisine de la sortie des gaz, car de l'autre côté la flamme serait trop violente. Les chargeurs s'approchent alternativement de la porte, les uns à droite, les autres à gauche; ils lancent vigoureusement la ferraille en élevant le bras pour se protéger la figure contre la chaleur, pendant qu'ils pirouettent sur un pied afin de se retourner et de s'éloigner rapidement. En une heure, quatre hommes chargent 10 tonnes de profilés. Les costières ont souvent à souffrir de l'inexpérience ou du manque d'attention des ouvriers : les ferrailles peuvent les accrocher et entraîner des morceaux de briques; les réparations qui deviennent ainsi nécessaires sont un sérieux inconvénient.

Les fragments dont le poids dépasse 25 kilogrammes, blooms, scraps, fonte en plaques ou en gueusets, sont chargés à la pelle. A 15 centimètres environ au-dessus du seuil des portes se trouve un rouleau en fer dont les tourillons sont soutenus par deux coussinets fixés aux armatures du four. La pelle, épaisse de 3 à 4 centimètres, s'appuie sur ce rouleau; sa longueur est égale à la largeur du four; elle

est terminée par un manche de 3 mètres maintenu par deux hommes; on peut ainsi charger 400 kilogrammes par pelletée, deux ouvriers, dont un droitier et un gaucher, alimentant la pelle. Les paquets de ferrailles sont placés sur une pelle assez large, de même que les scraps, qu'on cale pour qu'ils conservent leur équilibre. Les pelles sont en acier dur, car l'acier doux se ploie trop rapidement à la chaleur; on les refroidit ou on en change aussitôt qu'elles rougissent. En cinq minutes, on charge ainsi une tonne de fonte en gueusets.

Lorsqu'il s'agit de masses d'un poids considérable, on fait reposer l'extrémité élargie de la pelle sur un truck à trois roues, supportant un chevalet dont la traverse supérieure se trouve à deux centimètres au-dessous de la surface des rouleaux des portes. La masse étant calée sur la pelle, on roule le tout jusqu'auprès du four, on appuie le bout de la pelle sur le rouleau en soulevant le manche et on dégage le truck qu'on éloigne, puis on pousse vigoureusement en avant et on retourne la pelle. L'ensemble de ces manœuvres dure à peine une minute.

Quand on a une grande quantité de gros boccages à charger, on peut installer une grue fixe ou un pont roulant. La grue est établie latéralement; une seule sert pour deux fours, l'extrémité de sa volée arrivant jusqu'à l'axe de chacun d'eux; elle soulève la pelle chargée, et l'amène en face d'une porte. L'emploi d'un pont roulant n'est économique que pour une batterie de fours assez importante.

Chargement mécanique. — Machines à charger. — Le chargement mécanique permet d'augmenter considérablement la rapidité de l'opération, et de réaliser une notable économie de combustible; les matières sont plus vivement exposées à la flamme, et leur fusion s'en trouve accélérée. Les portes restant ouvertes fort peu de temps, les rentrées d'air sont réduites; on diminue ainsi le refroidissement du four, surtout celui des chambres de récupération. La main-d'œuvre est assez faible, car un homme suffit au service de la machine.

Il y a tout avantage à employer une machine lorsqu'on doit charger au moins deux fours voisins; pour un seul four, l'avantage est douteux, car la machine reste longtemps inactive, et n'a plus qu'un faible rendement.

Les premières machines à charger étaient commandées par des cylindres hydrauliques. L'électricité a remplacé actuellement l'eau sous pression : le raccordement à la source d'énergie est plus facile, ainsi que la transformation des mouvements. Les dispositions obli-

gatoires que doivent présenter ces machines sont les suivantes :

1° Saisir les cuillers pleines et permettre de les fixer rapidement et solidement ;

2° Soulever la cuiller à hauteur suffisante pour passer au-dessus de la charge la plus forte du four, en se rapprochant de la voûte, soit par translation verticale, soit par oscillation autour d'un axe horizontal ;

3° Avancer la cuiller et l'introduire dans le four, au delà de l'axe de la sole, en la maintenant à hauteur convenable ;

4° Déverser la caisse à droite ou à gauche en la vidant complètement ;

5° Déplacer la cuiller radialement, pour atteindre tous les points de la sole, ce qui, dans les grands fours, permet de réduire le nombre et la dimension des portes de chargement ;

6° Se déplacer enfin sur une voie longitudinale devant la batterie des fours.

Une seule machine peut desservir trois et même quatre fours, si les coulées sont convenablement espacées les unes par rapport aux autres. La réunion momentanée de la caisse et du bras de chargement se fait soit au moyen d'un verrou poussé à la main dans une mortaise et supportant le poids de la cuiller après déversement, soit par le calage d'un coin rectangulaire. On emploie encore un boudin rond qui entre avec du jeu dans un logement circulaire où le poids de la caisse, même vide, le fait constamment pénétrer.

Le soulèvement de la caisse est réalisé soit par un piston hydraulique, soit au moyen d'une oscillation commandée par chaînes et poulies, soit enfin par vis sans fin verticale. L'avancement du bras de chargement est produit par le roulement du chariot porteur du bras sur ses rails. Une chaîne, une crémaillère ou un cylindre hydraulique provoquent ce mouvement, qui doit être assez rapide, particulièrement au retour, pour que la caisse et surtout les bras restent aussi peu que possible exposés à la chaleur du four ; on peut munir ce bras d'une circulation d'eau intérieure, bien que ce soit un dispositif compliqué.

La rotation de la caisse ne nécessite qu'un faible effort ; elle se fait à la main ou mécaniquement. Dans le premier cas, on s'arrange de façon que le déversement soit brusque, avec changement de marche pour le retournement ; dans le second, on exécute le retournement en continuant la rotation toujours dans le même sens, plutôt que de compliquer l'appareil par un changement de marche.

Quand les commandes sont électriques, on a tout avantage à les faire par l'intermédiaire de vis sans fin, qui permettent d'avoir sans

autre intermédiaire des arbres à vitesse modérée, et qui servent de freins si leur pas est suffisamment réduit.

Chargement de la castine. — Le chargement de la castine s'effectue généralement à la pelle, ou avec une palette si on veut la placer particulièrement sur les cordons pour les protéger. On emploie des fragments ou des déchets de carrière, propres, ne contenant ni sable, ni terre capables de détériorer la sole. Dès qu'ils sont enfournés, la vaporisation subite de leur humidité les fait éclater, au point même d'en projeter des morceaux dans les carneaux de gaz. On choisit de préférence des castines très peu siliceuses ; une légère proportion de magnésie n'a pas grand inconvénient, bien qu'elle diminue la fusibilité du laitier ; l'oxyde de fer qu'elles renferment, saturant une partie de la scorie, tend par cela même à réduire le déchet de métal que présentera l'opération.

On remplace quelquefois la castine par de la chaux, sans y trouver beaucoup d'avantage. La décarburation de la castine absorbe, il est vrai, une notable quantité de chaleur, mais celle-ci est assez faible comparativement à la chaleur totale que nécessite la coulée, d'autant plus que c'est pendant l'affinage qu'elle est empruntée au bain. La castine forme, en outre, une couche de scorie peu fusible qui garantit la sole ; les dernières traces d'acide carbonique qui s'en dégagent pendant l'oxydation du bain fondu contribuent elles-mêmes à l'épuration de la fonte. La chaux, au contraire, surnage, reste moins facilement en contact avec le métal, et se réduit en poussière. Il est en outre difficile de la conserver à l'état cuit ; aussi, son emploi ne peut être économique que si l'on en consomme de grandes quantités.

Ordre suivi pour le chargement. — Il n'est pas indifférent, au point de vue de la durée de l'opération et de la conservation de la sole, de charger le four suivant un ordre quelconque. On cherche à rendre la fusion aussi rapide que possible : on réduit ainsi la consommation de houille et les frais d'entretien, tout en améliorant la qualité de l'acier, qui sera moins oxydé.

Par la formation de silicates métalliques fusibles, les soles acides s'usent et tendent à se percer ; les soles basiques, au contraire (surtout celles qui sont faites uniquement en magnésie), se recouvrent de croûtes de crasses réfractaires ; en disposant convenablement la charge, on pourra, dans une certaine mesure, combattre les tendances particulières de chaque type de soles.

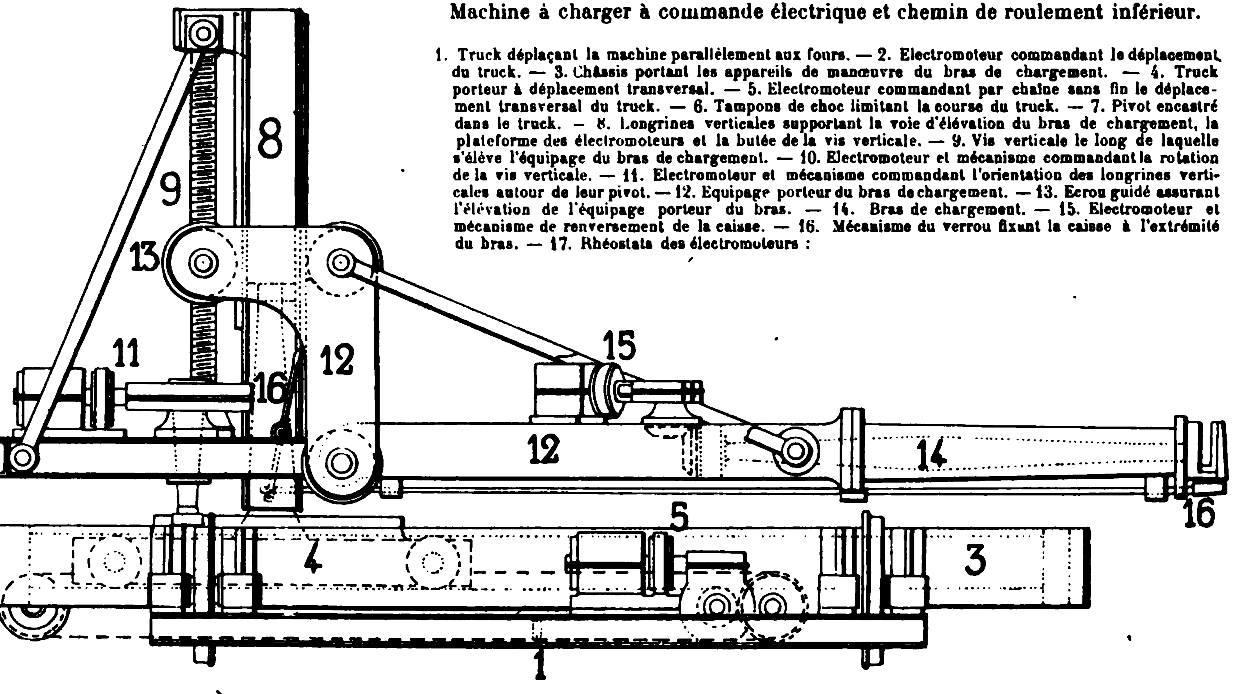
Pour les fours acides, la fonte, par son manganèse, est naturellement plus rongeante que les chutes d'acier; en outre, son oxydation, en élevant la température, est plus dangereuse aussi qu'une simple fusion; on chargera donc la fonte à la partie supérieure.

Sur les soles basiques, on dépose la castine aux endroits qui tendent à s'user le plus rapidement, sur les cordons, près des arrivées de gaz et des costières et au niveau d'affleurement du laitier; on l'enfourne alors en blocs, avec une palette. Le silicium et le phosphore de la fonte étant des rongeants actifs, on éloignera la fonte de la sole, sauf aux endroits où celle-ci sera recouverte d'une trop grande épaisseur de crasses. Quand la tendance à l'encrassage persiste pendant plusieurs coulées consécutives, soit par suite d'une marche très calcaire, soit qu'après vidange du four la scorie ne s'écoule pas et adhère à la sole, on charge sur la sole même une couche mince de tôles fines, qui s'y collent momentanément, en en prenant la forme exacte; sur cette couche, on charge la castine.

Quand on travaille sur sole basique avec fort peu de castine ou de chaux, c'est-à-dire avec des fontes peu phosphoreuses, où la chaux ne sert qu'à saturer la silice et une partie du soufre, on répand cette castine en couche mince, à la partie supérieure de la charge, en contact avec la fonte. Elle doit être cassée en menus fragments, et non broyée, car la poussière serait entraînée dans les chambres de récupération.

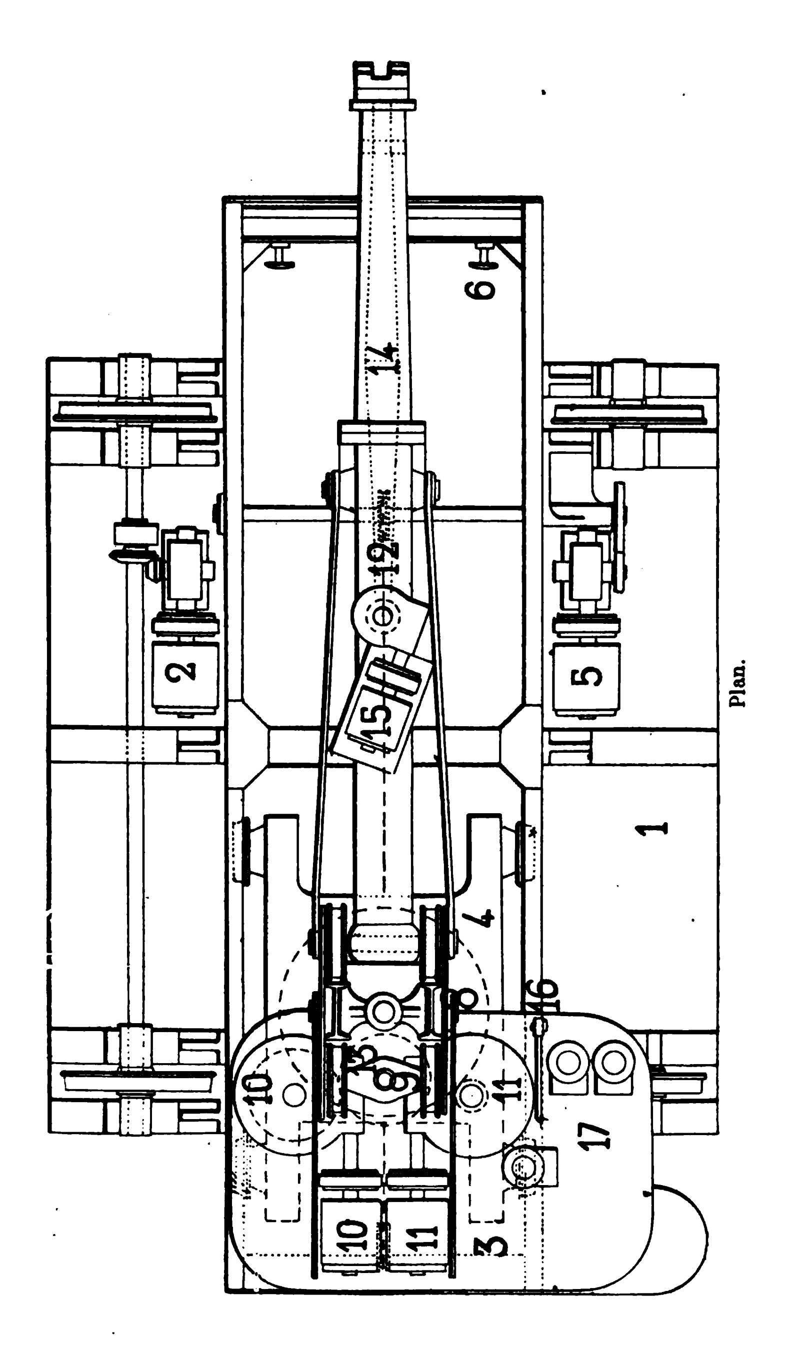
On dispose également les ferrailles de manière à en faciliter la fusion, en laissant entre elles des vides où pourront circuler les gaz. Les tôles minces ou le riblon, chargés en grande proportion, forment des buttes qui se soudent et absorbent ensuite difficilement la chaleur parce que le gaz glisse à leur surface sans les pénétrer. Les chutes de profilés sont généralement placées sur la sole, car elles laissent des vides que mouillera le métal fondu. Les scraps sont chargés en dernier, parce qu'ils tiennent beaucoup de place, tandis que les bouts de lingots et les gros blooms sont enfournés les premiers, et placés en face des arrivées de gaz. La fonte est disposée sur la ferraille, à moins qu'on ne l'utilise pour ronger la sole; on trouve un avantage sensible à la charger en dernier, car elle fond rapidement, en répandant des gouttelettes sur l'acier qui se trouve au-dessous; ces gouttelettes subissent tout de suite un commencement d'affinage et sont partiellement transformées quand elles arrivent au contact de la sole.

Lorsque le four est rempli avant que le chargement ne soit terminé,



Machine à charger à commande électrique et chemin de roulement inférieur.

1. Truck déplaçant la machine parallèlement aux fours. — 2. Electromoteur commandant le déplacement du truck. — 3. Châssis portant les appareils de manœuvre du bras de chargement. — 4. Truck porteur à déplacement transversal. — 5. Electromoteur commandant par chaîne sans fin le déplacement transversal du truck. — 6. Tampons de choc limitant la course du truck. — 7. Pivot encastré dans le truck. — 8. Longrines verticales supportant la voie d'élévation du bras de chargement, la plateforme des électromoteurs et la butée de la vis verticale. — 9. Vis verticale le long de laquelle s'élève l'équipage du bras de chargement. — 10. Electromoteur et mécanisme commandant la rotation de la vis verticale. — 11. Electromoteur et mécanisme commandant l'orientation des longrines verticales autour de leur pivot. — 12. Equipage porteur du bras de chargement. — 13. Ecrou guidé assurant l'élévation de l'équipage porteur du bras. — 14. Bras de chargement. — 15. Electromoteur et mécanisme de renversement de la caisse. — 16. Mécanisme du verrou fixant la caisse à l'extrémité du bras. — 17. Rhéostats des électromoteurs :



Plan.

on attend que la fusion fasse un peu de place pour enfourner le reste des matières. Il est indispensable de laisser sous la voûte un passage de $0^m,50$ de hauteur minima pour le gaz, afin qu'elle ne soit pas trop rapidement brûlée. A chacune des charges partielles, il est bon de mettre une partie de la fonte à la surface, pour que sa présence évite une trop profonde oxydation du métal liquide.

FUSION

La fusion de la charge est la période la plus longue de l'affinage sur sole. Cette fusion sera d'autant plus rapide que le four chauffera mieux; elle est d'ailleurs liée aux conditions dans lesquelles s'est effectué le chargement : s'il a été vivement mené, les récupérateurs à gaz n'ont pas eu le temps de beaucoup se refroidir, de sorte que la température intérieure reste élevée, malgré l'afflux de matières froides que l'on a introduites; lorsque ensuite, après plusieurs inversions de gaz, les chambres commencent à se refroidir, on entre précisément dans la période d'affinage, les fumées deviennent plus chaudes, relèvent la température des chambres et les préparent à donner le coup de chaleur nécessaire pour la fin de la coulée.

Les produits les plus carburés fondent les premiers, suintent à travers la charge; leur surface apparaît vernie et brillante. On cherche à rendre la fusion aussi égale que possible; comme c'est généralement le milieu de la sole qui résiste le plus, c'est là qu'on dispose les matières les plus fusibles. Quand un retard à la fusion se manifeste vers l'une des têtes du four, c'est que les récupérateurs correspondants sont refroidis; on les réchauffe alors en les conservant plus longtemps comme chambres descendantes, de sorte qu'à l'inversion suivante l'équilibre se trouve rétabli. On peut faciliter la liquéfaction d'une butte isolée en la chargeant de quelques plaques de fonte un peu silicieuse qui aura vite raison de l'agglomération. Pour ne pas brûler la voûte, au début de l'opération, quand les matières forment encore un tas élevé, il suffit de rendre la flamme bien plongeante en réglant le tirage de l'air.

Plus la fusion sera oxydante, plus la période d'affinage, qui la suit, sera courte ; les divers éléments composant la charge ont été choisis de manière que le bain initial soit déjà presque entièrement décar-

buré, ou le soit du moins suffisamment pour que les autres impuretés, le phosphore en particulier, s'éliminent ensuite rapidement.

Pendant le chargement, on donne complète admission au gaz en réduisant le tirage de l'air, pour contre-balancer les rentrées qui se produisent par les portes fréquemment ouvertes durant cette période. Pendant la fusion, au contraire, il est bon de luter grossièrement le pied des portes sur le seuil avec de la poussière pour diminuer les rentrées d'air froid ; dans les grands fours, on place sur les portes elles-mêmes des portillons servant uniquement à l'examen intérieur du four, et ne livrant à l'air qu'un très faible passage.

On donne large admission à l'air chaud pendant la fusion, tant pour recueillir les avantages d'une combustion complète que pour conserver sur la sole une atmosphère franchement oxydante qui commence déjà l'affinage; c'est la seule période où un notable excès d'air présente peu d'inconvénients. La flamme, très longue, arrive jusqu'aux carneaux des chambres descendantes ; ses bords sont transparents et déchiquetés. On règle l'arrivée d'air suivant la manière dont se comporte le bain ; si les matières fondues bouillonnent et travaillent violemment, l'air est en quantité suffisante. Il y en a, au contraire, insuffisamment si le bain reste calme, à peine ridé par des bulles rares et grosses; une couche de scorie très pâteuse recouvre le métal et se solidifie même au voisinage des portes, sur les costières. Dès que l'on augmente l'admission d'air — ou, ce qui revient au même, si l'on réduit l'arrivée du gaz — la combustion se fait plus vive, la flamme éclaire et plonge davantage, en même temps que la surface du bain se modifie; les bulles viennent y crever sans interruption, et la crasse devient plus fluide; le bouillonnement laisse échapper des fumées blanchâtres très éclairantes.

Quand le registre à gaz n'est pas assez ouvert, ou si le gaz fait défaut par suite d'un décrassage des grilles des gazogènes, la flamme devient courte, pointue, divisée, et elle atteint à peine la porte voisine des chambres descendantes. Le bain se refroidit, les réactions s'affaiblissent ; la scorie, chargée d'oxydes métalliques, devient très fluide, quoique le bain ne soit pas complètement fondu. Aussitôt on augmente le gaz ou on diminue l'air; puis, pour ramener le bain à une allure normale, on fait une addition de fonte, dont l'oxydation absorbera une partie au moins de l'oxygène déjà contenu dans le métal. Des phénomènes semblables se produisent lorsque la quantité de fonte primitivement chargée est insuffisante. Comme il se peut qu'on ait besoin de faire une addition de fonte au cours de la fusion,

on ne remplit jamais le four, dès le début, à sa contenance maxima; s'il est, par la suite, inutile de rajouter de la fonte, il est toujours temps d'enfourner des chutes, pour utiliser la capacité totale de la sole.

Le bain, même pendant la fusion, peut être assez rongeant pour arracher la sole, ou la croûte de crasse qui la recouvre, par morceaux qui remontent à la surface avec de violents bouillonnements. Il est impossible d'empêcher ce soulèvement; on ne peut que hâter la coulée, et, si l'on a des craintes pour la fin de l'opération, faire avancer la poche pour évacuer le métal.

Lorsqu'on a chargé beaucoup de scraps, et que la flamme a été peu oxydante, la scorie, très épaisse, transmet mal la chaleur; on décrasse en ce cas aussitôt après fusion, en ajoutant, si besoin est, de la chaux ou de la castine pulvérulente. Le même fait se produit quand une sole en dolomie s'est soulevée, car la magnésie rend le laitier peu fluide; l'alumine produit les mêmes inconvénients avec une sole acide.

AFFINAGE

L'élimination des impuretés contenues dans la charge, commencée pendant la fusion, se poursuit avec plus d'intensité pendant la période d'affinage. A partir du moment où la fusion est complète, l'affinage Martin se rapproche d'une conversion où l'action de l'air ne se produirait qu'à la surface du bain; les lois de l'oxydation éprouvent néanmoins de sérieuses modifications, quant au mode d'action de l'oxygène. Dans la conversion, la rapidité des transformations favorise l'existence de périodes d'oxydation nettes et distinctes; chacune des réactions successives se produit intensivement, et à l'exclusion presque totale des précédentes et des suivantes; autrement dit, à un instant donné une réaction se produit seule, ou, si d'autres l'accompagnent, ces dernières sont peu intenses. Les lignes de démarcation entre les diverses phases de l'affinage sont suffisamment accentuées pour servir d'indicateurs, de guides, sans qu'il soit indispensable de prendre des échantillons de métal ou de scorie.

Dans l'affinage sur sole, le mode de propagation de l'oxydation, la lenteur de l'affinage, modifient l'allure de l'opération. Aussitôt après la fusion, la surface du métal est encore en contact direct avec la

flamme; mais une couche de scorie ne tarde pas à surnager, et son rôle devient alors capital; comme dans le puddlage bouillant, elle sert de véhicule à l'oxygène. Le protoxyde est le plus stable des oxydes de fer; mais, sous l'influence de la chaleur, prennent naissance des oxydes mixtes plus oxygénés, de même forme que l'oxyde salin $(FeO)^nFe^2O^3$, qui se dissolvent dans le laitier; comme les composés siliceux de ces oxydes sont peu stables, ils se dissocient en présence de l'excès de fer du bain, forment de l'oxyde ferreux, FeO, restant dissous dans le métal : c'est à son tour cet oxyde qui est réduit par les éléments à éliminer. Il y a donc deux intermédiaires entre l'oxygène et les impuretés : la scorie et l'oxyde de fer; c'est pourquoi l'affinage est plus lent, plus difficile. Une crasse épaisse, très alumineuse, magnésienne, ou trop calcaire, qui contiendra peu d'oxydes métalliques, retardera par conséquent l'affinage. La scorie Martin n'est donc pas, comme la scorie Thomas, uniquement un déchet : c'est un élément essentiel de la fabrication, et, avant de chercher à faire de l'acier, il faut chercher à obtenir un bon laitier.

Dans les réactions secondaires des réducteurs sur l'oxyde de fer, on ne retrouve plus l'ordre que présentent les affinités chimiques; les diverses combinaisons, successives dans la conversion, deviennent simultanées; le carbone, le phosphore même, sont oxydés avant la disparition complète du manganèse et du silicium, jusqu'à ce que leur teneur soit en rapport avec celle des autres éléments, et avec les conditions ambiantes.

Étant donnée la présence d'un excès de fer, la combustion du carbone produit des bulles d'oxyde de carbone qui crèvent à la surface, chassant devant elles la scorie et le métal; ce dernier est donc par cela même soumis à un contact direct, mais très court, avec la flamme, ce qui contribue à accroître la rapidité de l'affinage. Pendant cette période, le bain est soumis à une violente agitation analogue à une ébullition ; les éclaboussures peuvent même atteindre et endommager la voûte, et le métal risque de déborder sous les portes.

Le silicium est toujours en faible proportion dans la charge sur sole basique ; sur sole acide, il ne se trouve en grande quantité que dans les charges renfermant beaucoup de fonte. Il commence à s'oxyder dès le début de la fusion, mais incomplètement, surtout si la température est très élevée, car le carbone absorbe alors la majeure partie de l'oxygène. La silice naissante se combine aussitôt avec les oxydes de fer et de manganèse. Sur sole acide, la proportion de sili-

cium libre peut encore être notable à la fin de l'affinage, quand on ne décarbure que partiellement : la scorie est très acide, de sorte que le manganèse et le carbone qui subsistent empêchent la disparition du silicium.

Tous les métaux de la charge renferment du manganèse dont l'oxydation protège le fer. Au point de vue de la saturation de la scorie, le manganèse est équivalent au fer; en outre, un laitier très manganésé favorise la désulfuration. Sur sole acide, le manganèse est rapidement oxydé : la silice naissante et le garnissage, qui présentent une forte fonction acide, se saturent énergiquement d'oxydes ferreux et manganeux. Sur sole basique, la silice est peu abondante et la scorie initiale très basique : le manganèse subsiste dans le métal jusqu'à la fin de l'affinage, et même après déphosphoration, car alors la faible acidité de l'anhydride phosphorique a été neutralisée par un excès de chaux.

Tant que la castine ou la chaux n'entrent pas en combinaison avec la scorie, le départ du phosphore se fait difficilement, car les phosphates métalliques sont peu stables. A la fin de la fusion, la castine est à peu près décarbonatée; si on l'a placée au-dessus du métal ou bien entre deux couches de fonte, elle surnage ; si, au contraire, on l'a directement chargée sur la sole, elle est partiellement combinée avec le garnissage, et forme une scorie peu fusible, qui se détache par fragments; pendant la décarburation, la castine a donné naissance à des centres de bouillonnement, grâce aux gaz qu'elle renferme encore et qui oxydent le métal; puis les fragments se sont détachés, entraînant parfois des lambeaux de la sole.

Que l'on ait chargé de la chaux ou de la castine, la scorie se trouve garnie de masses poreuses de chaux qui s'y dissolvent peu à peu, en donnant finalement une crasse grasse et consistante si l'oxydation du métal n'a pas été trop vive. C'est alors que le déphosphoration devient intense; elle s'est déjà produite pendant la décarburation, mais les phénomènes violents qui accompagnent cette dernière ont masqué ceux qui caractérisent le départ du phosphore. Le bain se calme, des pustules isolées se montrent lourdement à sa surface, y forment les ondulations qu'étouffe la viscosité de la crasse. Ce n'est pas un dégagement gazeux, puisque l'oxydation du phosphore ne donne aucun produit volatil, mais un mouvement de convection dû à la chaleur de la combinaison, et qui se manifeste par un anneau brillant, incandescent, surmonté d'une buée bleuâtre rapidement étouffée; ces pustules gonflent régulièrement la surface, ridée encore

par les derniers soubresauts du carbone subsistant qui dispute l'oxygène au phosphore. Le bain tout entier est recouvert d'un flottement de traînées bleuâtres ou violettes, qui suivent la direction de la flamme. Puis le phénomène cesse; le bain reste calme; brillant comme du mercure, il réfléchit l'image des piédroits et de la voûte : c'est la fin de l'affinage. Le bain est du fer fondu, avec très peu de carbone, de manganèse, de phosphore et d'oxyde de fer en solution.

Il semble que sur sole acide l'opération doive être abrégée de toute la durée de la déphosphoration. Il n'en est rien cependant, car l'acidité de la sole nuit à une décarburation rapide; l'oxydation se porte de préférence sur le silicium et sur les éléments dont la combustion est sensiblement exothermique. La scorie, très siliceuse, n'est pas apte à contenir des oxydes de fer au maximum, qui seraient décomposés et réduits à l'état de protoxyde; le degré d'oxydation de la scorie étant moindre, son efficacité est moindre aussi, et la décarburation en souffre.

Modifications dans l'allure de l'affinage. — La nature de la charge, la température, l'atmosphère du four, peuvent modifier l'allure générale de l'affinage. Une grande quantité de ferrailles minces de large surface, une fusion lente, augmentent l'oxydation du silicium, du manganèse et du fer; le bain final est fortement chargé d'oxyde de fer, et sa température est restée trop faible pour que le carbone soit déjà parti en proportion notable. Au contraire, des bouts de lingots, des blooms, une fusion rapide, donnent un bain qui reste dur après fusion, car les influences oxydantes se sont peu développées : on réservera donc particulièrement ces matières pour des opérations destinées à un affinage incomplet.

Il est d'ailleurs toujours possible de remédier à l'une ou à l'autre de ces allures, quand elle devient exagérée, soit par des additions de fonte, soit par des additions oxydantes ou une atmosphère plus oxygénée. Une atmosphère presque neutre ou contenant seulement un léger excès d'oxygène, retarde l'affinage; le départ du carbone s'en ressent tout particulièrement, car il exige un poids d'oxygène relativement considérable par rapport à celui que demandent le manganèse et le fer. Les coulées chauffées en atmosphère réductrice semblent languir dans le four; une scorie très fluide se forme, mais le bain ne travaille pas, et reste dur; l'aspect de la flamme est anormal : sur le fond se détachent des nuages sombres provenant d'une combustion incomplète. On y remédie aisément en ouvrant davan-

tage les registres à air, et en augmentant également le tirage des récupérateurs correspondants.

Par contre, un gaz trop pauvre ou un excès d'air pourront provoquer un départ trop rapide du carbone, particulièrement si l'excès d'air momentané est dû à une cause accidentelle, décrassage des grilles, diminution de la pression du soufflage, variation des conditions atmosphériques. On rendra au métal sa composition normale par une addition de fonte non phosphoreuse, même sur sole basique. Les fontes très silicieuses conviennent bien, car elles renferment un réducteur énergique, dont la combustion apporte en outre une quantité de chaleur suffisante pour compenser celle qu'absorbe la fusion même de l'addition.

La température influe notablement sur le résultat final. Si, pendant la fusion de la charge, la chaleur dégagée est très vive et les pertes réduites, la température reste élevée; la fusion est donc rapide : c'est ce qui arrive dans le cas du chargement mécanique ; le carbone brûle rapidement, relativement au silicium et au manganèse, de sorte que la teneur primitive de ces derniers dans la charge peut être plus faible. Une fusion lente, à température réduite, donnera au contraire une scorie riche en oxydes métalliques, qui sera peu favorable à une bonne déphosphoration ; le métal encore carburé, quoique peu manganésé, s'oxydera profondément lors de la disparition du carbone et restera mousseux. En ce cas, des additions de ferromanganèse et de ferrosilicium riches seront d'un heureux effet, et réchaufferont en même temps le bain. On recherche toujours, même en affinage basique, une allure chaude et rapide, particulièrement favorable à l'opération acide où le départ du carbone éprouve toujours quelques difficultés.

L'état de la scorie procure des renseignements précis sur l'allure de l'opération. Sur sole acide, comme les oxydes métalliques qui prennent naissance trouvent dans le garnissage de quoi saturer leur basicité, la scorie offre presque toujours le même aspect ; sa forte teneur en silice la rend vitreuse, tandis que le fer qu'elle contient lui donne une teinte noire. Elle se rapproche des scories de conversion acide ; la scorie des opérations où le métal fond rapidement et s'oxyde peu est plus siliceuse et moins fluide que les autres.

Sur sole basique, une scorie très liquide, brillante, réfléchissant bien la lumière, est l'indice d'une opération trop oxydée ; elle coule rapidement, se fige en nappes minces, qui, en se refroidissant,

passent par toutes les teintes, du rouge blanc au noir. Quand la chaux est en proportion convenable pour assurer une bonne déphosphoration, la crasse est plus grasse, moins fluide; elle se refroidit plus rapidement à l'air, parce que sa densité et sa conductibilité sont moindres ; après refroidissement, son aspect est gris noir, mat et rugueux. Un excès de chaux accuse encore davantage ces caractères ; la scorie est courte, avec des flocons moins rouges, des filets obscurs dégageant encore du gaz et entraînant souvent des globules métalliques étincelants ; elle semble hétérogène et refroidit inégalement.

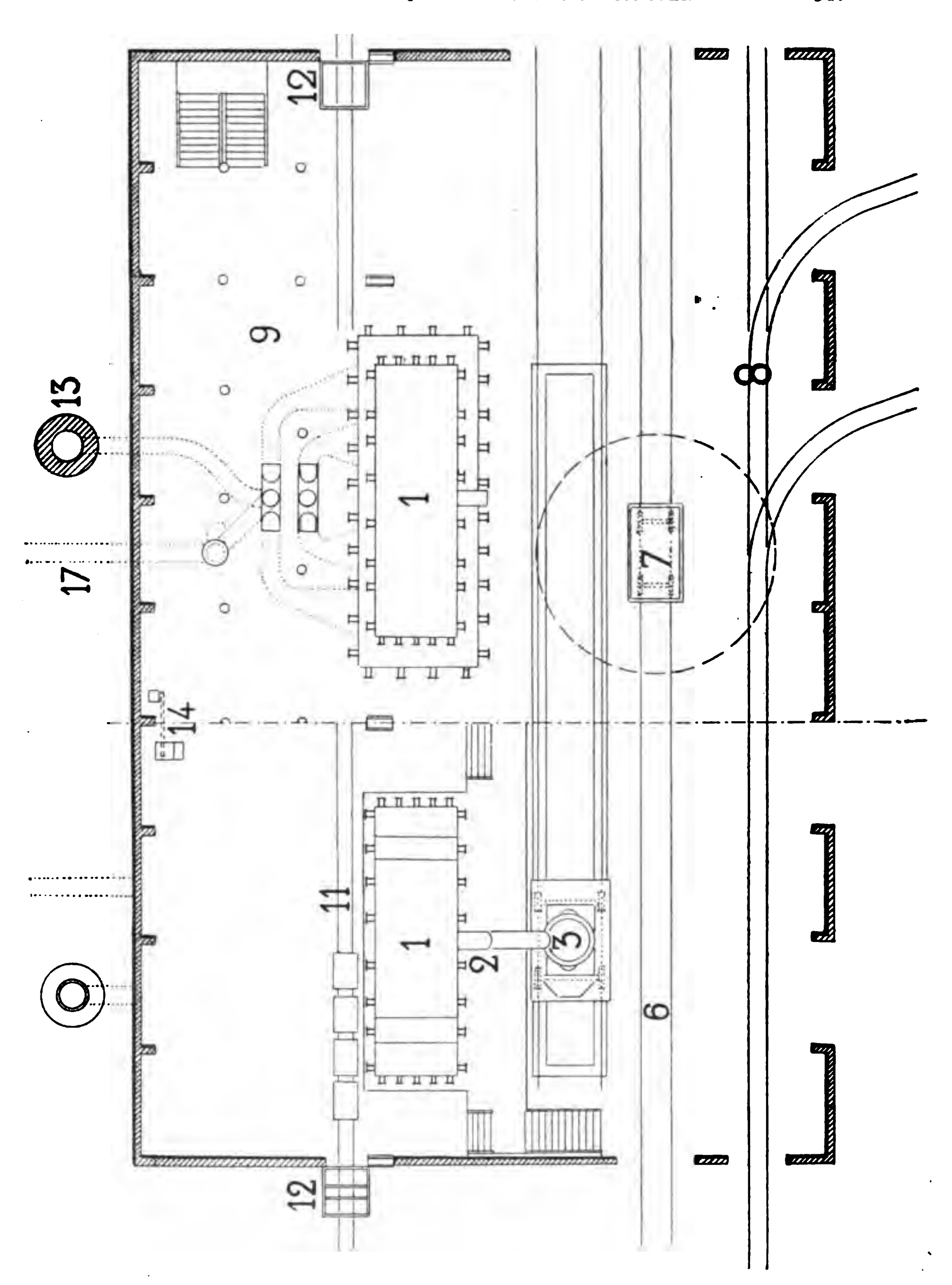
Il ne suffit pas de régler l'air et le gaz pour réaliser un affinage rapide, surtout quand une scorie épaisse isole le bain de la flamme. On utilise alors un auxiliaire énergique, qui porte l'oxydation au sein même du métal : c'est le minerai. Ce dernier constituait autrefois l'une des matières premières essentielles du procédé Martin ; il tend aujourd'hui, dans certaines fabrications, à reprendre le rang qu'il avait perdu. Rien ne paraît plus simple, en effet, que d'ajouter à un bain carburé des corps oxydés qui se réduiront aux dépens du carbone ; la gangue du minerai produit en outre une scorie peroxydée sans le concours de l'air. On choisit des minerais contenant peu de gangue, et naturellement point de soufre. On les jette à la pelle sur le bain ; une vive effervescence se produit aussitôt, due au dégagement de l'eau de carrière et à la décomposition des carbonates, au point que les voûtes siliceuses peuvent être endommagées par les projections. L'agitation qui se manifeste ainsi avant même la fusion fait travailler le bain, qui se couvre immédiatement de bulles gazeuses ; dès que la réaction est amorcée, elle se produit avec vivacité.

Il est à remarquer qu'une très faible proportion du minerai se trouve réduite, et que l'on ne saurait considérer ce mode d'emploi du minerai comme un procédé direct de sa transformation en acier : on perd la majeure partie du fer qu'il contient. Le déchet est proportionnel à la quantité de scorie fournie par le minerai ajouté ; c'est ce qui conduit à prendre des minerais aussi riches que possible. Comme il est parfois difficile de s'en procurer, on les remplace par des déchets d'usines qui ne trouvent d'ailleurs pas d'autre emploi : tournures de fer ou d'acier, battitures de laminoirs et de marteaux-pilons. Ces débris, abandonnés au contact de l'air, s'oxydent et se rassemblent en agglomérations humides, contenant beaucoup de rouille ; c'est du minerai pur artificiel.



Aciérie Martin de Rendsburg (Allemagne).

1. Four basique de 20 tonnes. — 2. Chenal mobile de coulée. — 3. Poche à acier. — 4. Fosse de coulée. — 5. Pont roulant. — 6. Voie de la grue de démoulage. — 7. Grue de démoulage. — 8. Voies à lingots. — 9. Magasins à produits réfractaires. — 10. Machine à charger. — 11. Voie des wagonnets de la charge. — 12. Monte-charges. — 13. Cheminée (Hauteur = 35m). — 14. Marteau-pilon à électromoteur. — 15. Voie d'approvisionnement. — 16. Gazogènes. — 17. Conduits à gaz. — 18. Voies de service des gazogènes (houille et décrassage).
Largeur de la halle des fours = 19 mètres.
Largeur de la halle de chargement = 11 mètres.
Longueur de la halle = 50 mètres.


12
9
13
17
14
1
1
11
2
3
6
7
8
12

Il est rare d'ailleurs qu'il soit nécessaire d'ajouter pendant l'affinage une grande quantité de minerai ou de battitures : ce ne sont que des correctifs ; 3 à 4 0/0 du poids de la charge suffisent généralement. Employés en proportion plus considérable, ils font alors l'objet de procédés spéciaux, dans lesquels l'opération Martin est considérée comme un procédé d'affinage de la fonte, plus que comme une fusion de ferrailles.

Dans certaines opérations, on peut avoir été conduit à décrasser avant la fin de l'affinage, soit que la scorie reste trop volumineuse, soit que son état physique ne convienne pas à un bon chauffage ; — dans d'autres, le laitier, très-riche en oxydes métalliques, ne favorise pas la déphosphoration ; — dans les deux cas, il est nécessaire d'enrichir la scorie en éléments calcaires par de nouvelles additions de chaux ou de castine pulvérisée. Comme la crasse est déjà fluide, les poussières y adhèrent et ne risquent pas d'être entraînées dans les chambres par le courant gazeux. La chaux est cassée en fragments, et la castine écrasée en grains fins, comme la dolomie ; il faut naturellement deux fois plus de castine que de chaux, et son effet est plus complexe ; la décomposition du calcaire agite la surface du laitier que la dissociation de l'anhydride carbonique rend elle-même plus oxydant ; pour les coulées déjà fortement oxydées, on emploiera donc la chaux de préférence.

Fin de l'affinage. — Prises d'éprouvettes. — L'affinage au four à sole présente sur la conversion l'avantage de permettre à tout instant la prise d'une éprouvette de métal ou de scorie sans interrompre l'opération, et de juger ainsi de la dureté, du degré de décarburation et de déphosphoration ; dans l'affinage des fontes phosphoreuses, on ne décrasse qu'après avoir examiné l'éprouvette.

Celle-ci est prise de diverses manières, suivant les renseignements que l'on veut obtenir. Pour juger simplement de la déphosphoration, il est inutile de forger la barrette de métal, car le grain seul est un indice suffisant ; les premières prises, avant décrassage, sont donc coulées dans une petite lingotière en deux pièces, à section rectangulaire, posée sur une plaque en fonte légèrement chauffée. Quand la solidification se produit sans boursouflements, le métal n'est généralement pas assez oxydé : quand beaucoup de soufflures se forment, c'est le signe que l'oxydation du bain est assez avancée. On trempe aussitôt le culot à l'eau froide, et on le casse avec un dégorgeoir sur une enclume échancrée ; l'angle de rupture

indique approximativement le degré de l'affinage, malgré les soufflures et le peu de travail mécanique. Le grain de la cassure est l'indice le moins trompeur : le phosphore donne des facettes planes, allongées, brillantes, normales aux surfaces de refroidissement, et bien différentes des facettes arrondies que peuvent présenter les soufflures superficielles. Un métal suffisamment affiné casse à 120°, et présente un grain fin, à cristaux ronds ; quand ce caractère apparaît, on peut procéder au décrassage. Cet essai sans martelage dispense de l'emploi d'un marteau-pilon, mais ne fournit que d'assez vagues indications sur la dureté du métal.

Décrassage. — Le décrassage des opérations sur sôle ne présente pas une importance aussi caractéristique que dans la conversion. On peut le pratiquer à différents instants ou le fractionner sans que la suite de l'affinage en soit notablement modifiée. Il doit être particulièrement soigné dans l'affinage basique avec déphosphoration, car la scorie chargée de phosphate régénérerait le phosphore sous l'influence des additions carburées et manganésées ; comme l'expulsion de la scorie basique enlève aussi la chaux, qui est l'agent déphosphorant, on ne doit décrasser une opération qu'au moment où la déphosphoration est à peu près terminée.

Exceptionnellement, si pour quelque raison on a dû faire disparaître une partie de la scorie avant déphosphoration, on refait de nouvelles additions de chaux pour remplacer celle qu'on a retirée du bain.

Lorsqu'on n'a pas à déphosphorer, sur sole acide ou sole basique, le rôle oxydant de la scorie se termine avec l'affinage ; à ce moment elle deviendrait même nuisible, car elle prolongerait une oxydation qui serait superflue. La couche de crasse est, en outre, mauvaise conductrice de la chaleur, surtout depuis que, le bain ne travaillant plus, tout bouillonnement a cessé de l'agiter. On l'enlève donc, dans le but de faciliter le chauffage et de diminuer la quantité d'additions qu'une réduction partielle de la scorie consommerait inutilement. Ainsi envisagé, le décrassage n'est pas une opération qui doive être faite en une seule fois, ni à tel instant précis. On le pratiquera aussi souvent qu'on l'estimera nécessaire. Cependant, avant la fin de l'affinage, il faut se garder de le faire trop tôt, puisque à ce moment la présence de la scorie est indispensable.

On facilite souvent la déphosphoration, sans augmenter le déchet de métal, par un accroissement de la basicité calcaire ; on élimine partiellement la crasse phosphatée, et on revivifie ce qu'il en reste

par une addition de chaux ou de castine : la puissance d'absorption de cette nouvelle scorie naissante sur l'anhydride phosphorique augmente la rapidité de l'oxydation du phosphore, sans qu'on doive employer une allure plus oxydante. Dès que cette seconde déphosphoration est terminée, on décrasse de nouveau, de sorte que la scorie finale est très pauvre en phosphates.

On opère le décrassage par la porte médiane, généralement plus petite que les autres. La plateforme de chargement est munie d'une trappe par laquelle la scorie s'écoule le long d'un chenal en fonte, débouchant au-dessus d'un dallage en fonte, ou dans des cuves montées sur trucks. On dégrade le seuil avec une pince, jusqu'au niveau de la scorie, et on y forme un couloir avec de la poussière de chaux. La porte étant légèrement soulevée, le fondeur place sur la surface du bain un crochet à longue tige, auquel il imprime un mouvement horizontal alternatif; une série d'ondulations se produisent et font déborder la scorie sur le seuil. Quand dans le four la couche de crasse est devenue très mince, elle semble plus liquide, transparente et très brillante; dès que le métal arrive à la surface, sa couleur vive le fait distinguer du laitier; quelques gouttes s'échappent avec la scorie en projetant des paillettes bleues, comme dans l'opération Thomas. Le crochet est si rapidement mis hors de service qu'on en doit changer plusieurs fois; à chaque passe, les deux fondeurs se remplacent alternativement.

L'aspect de la scorie et sa façon de couler donnent des indications sur la marche de l'opération. Si les charges ont été faites régulièrement, toute modification dans la composition de la scorie sera le résultat d'un changement dans la composition du métal qui l'engendre. Une scorie très épaisse, coulant mal, est due à une teneur anormale en alumine ou en magnésie provenant du garnissage. Une scorie très liquide sera le produit d'une opération très oxydée, sa fluidité provenant d'une forte teneur en oxydes métalliques; pour une opération basique, elle sera l'indice que la proportion de chaux est trop faible. Les scories basiques sont courtes, se solidifient rapidement, bien qu'étant très liquides; comme elles renferment peu de silice et d'alumine, elles ne sont jamais filantes; elles décrépitent spontanément en se refroidissant.

Les cuves à crasse doivent contenir le produit d'une coulée entière; elles circulent sur une voie parallèle au four. Les scories d'opérations acides sont inutilisables; celles d'opérations basiques sont assez riches en chaux, manganèse et phosphore pour entrer dans la com-

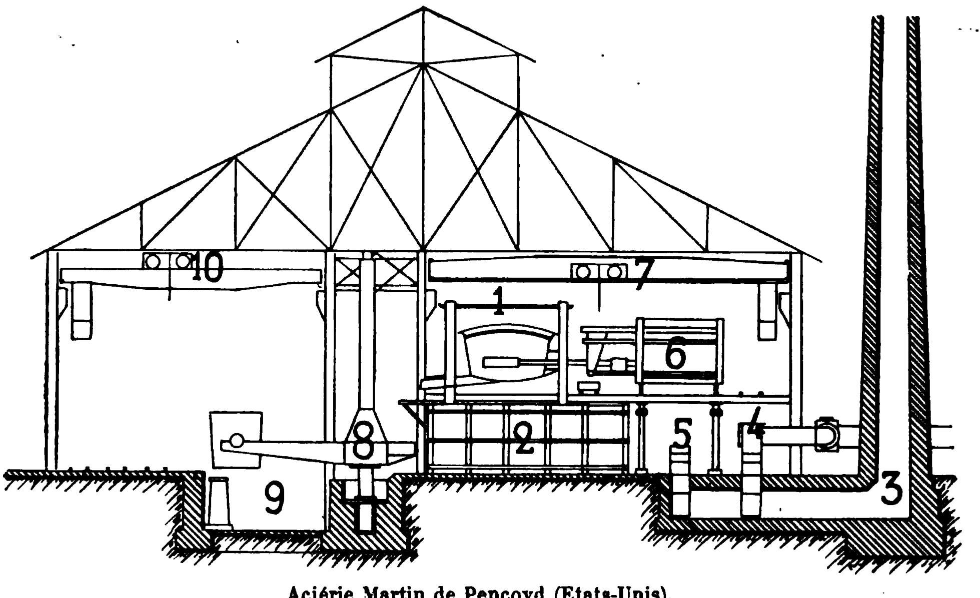
position des lits de fusion des hauts-fourneaux marchant en fonte Thomas. Quand on travaille avec une grande proportion de fonte phosphoreuse, les scories du premier décrassage peuvent contenir 12 0/0 d'anhydride phosphorique; on les utilise alors en agriculture, soit seules, soit mélangées avec des scories Thomas plus riches.

Réglage de la fin de l'affinage. — C'est par des prises d'éprouvettes soumises à un travail mécanique qu'on règle la fin de l'affinage. L'indépendance complète du mode de chauffage permet d'obtenir à volonté la qualité que l'on désire, puisqu'on peut amener l'oxydation jusqu'à être très faible ou nulle, le bain restant alors en chauffage simple; il est même possible de rétrograder, c'est-à-dire de réduire le métal, si on a dépassé la limite voulue. On peut obtenir une très grande ressemblance entre les coulées consécutives, les différences dans la résistance à la traction ne dépassant pas 2 kilogrammes par millimètre carré pour les aciers doux, et 4 à 5 kilogrammes pour les aciers durs.

L'affinage n'est pas poussé jusqu'au même point dans les diverses méthodes de fabrication; la plus simple est relative aux fontes siliceuses avec décarburation incomplète, la plus complexe est celle de la déphosphoration sur sole basique.

Le réglage de la température, comme celui de la composition chimique, présente beaucoup d'importance. Pendant la majeure partie de l'opération, la température est insuffisante pour qu'on puisse procéder à la coulée; il est donc nécessaire d'amener le métal au degré convenable par un chauffage plus intense combiné avec la conduite de l'affinage. C'est la coordination de ces deux points divers, calorifique et chimique, qu'il s'agit d'assurer; dans la conversion, elle dépend plus des conditions initiales que de la conduite même de l'opération.

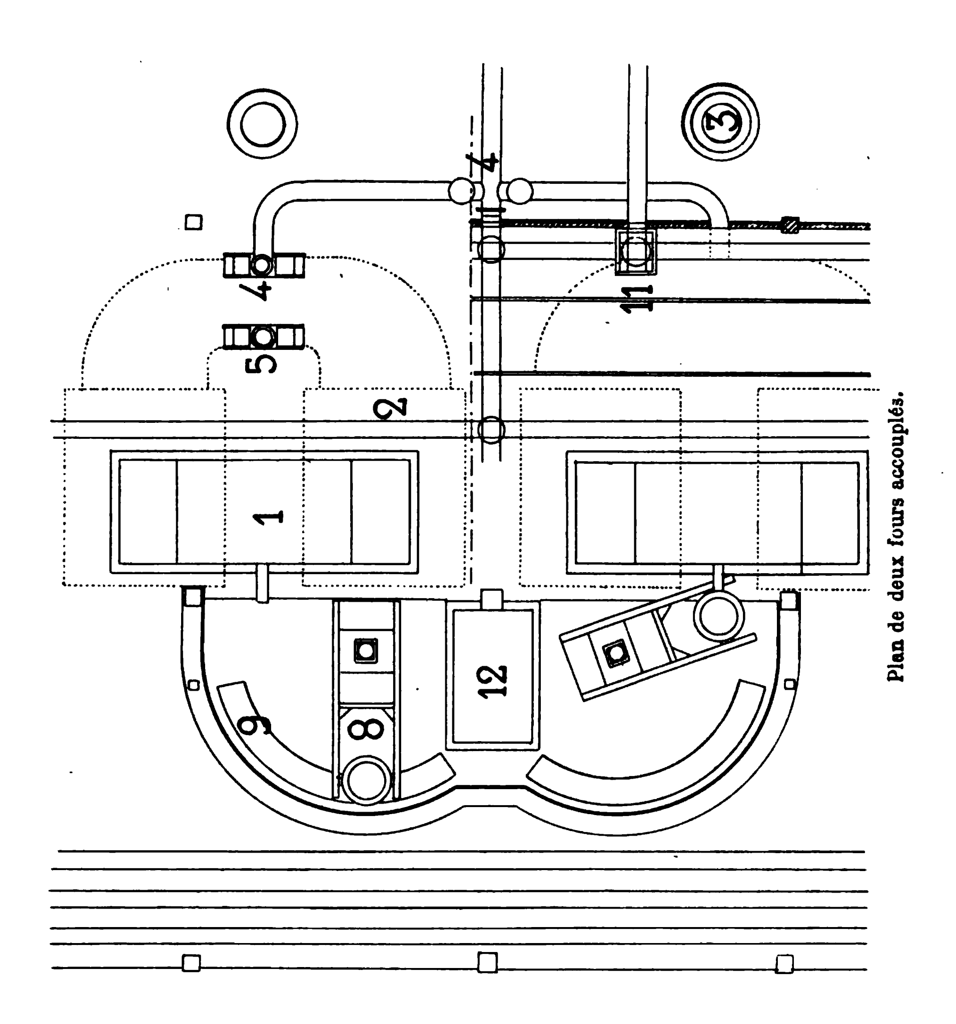
Quand l'affinage est presque achevé, on résout d'abord la question de température, en laissant autant que possible la composition du bain invariable; on diminue l'arrivée d'air, pour créer une atmosphère neutre ou réductrice. Les gazogènes auront été préalablement préparés, par des charges plus fortes et une allure plus chaude, à fournir rapidement l'excès de gaz qui peut leur être demandé; les récupérateurs ont également été maintenus bien chauds par des inversions plus fréquentes.



Aciérie Martin de Pencoyd (Etats-Unis).
Pencoyd Iron Work.

Coupe transversale.

1. Four de 30 tonnes. — 2. Récupérateurs. — 3. Conduits de fumées. — 4. Vannes à gaz. — 5. Vanne à air. — 6. Machine à charger. — 7. Pont roulant des fours. — 8. Grue de coulée. — 9. Fosse de coulée. — 10. Pont roulant de démoulage. — 11. Monte-charges. — 12. Fosse de décrassage des poches.
Halle des fours : Largeur = 30 mètres.



Plan de deux fours accouplés.

Indications fournies par les éprouvettes. — Les éprouvettes de métal sont prises, comme dans le procédé de conversion, au moyen d'une pochette qu'on plonge sous la couche de scorie ; les moules dans lesquels on les coule sont ronds ou bien allongés, ces derniers sont en deux pièces réunies par un anneau. Les éprouvettes rondes sont destinées à être aplaties au pilon, en galettes de 15 à 18 centimètres de diamètre sous 8 à 10 millimètres d'épaisseur ; la galette est immédiatement trempée dans l'eau froide, alors que sa température est encore voisine du rouge. Les éprouvettes allongées sont forgées sur deux faces, en leur donnant quartier à chaque coup, de manière à obtenir un barreau allongé à section méplate, qu'on trempe aussi tout de suite à l'eau froide.

Lorsque le métal s'est solidifié sans projeter d'étincelles, en remontant faiblement et en restant légèrement concave sans cependant grimper le long des parois, la décarburation est généralement incomplète ; une remonte peu accentuée, rendant la surface nettement convexe, avec quelques étincelles, indique que l'affinage est complet. Un métal qui ne peut pas se forger au pilon, qui s'aplatit difficilement et présente des criques profondes, est insuffisamment affiné. Des criques multiples sur les bords, un écrasement rapide sous de faibles coups, caractérisent un métal rouverin très oxydé ; avant de poursuivre l'affinage, il est indispensable de désoxyder le bain au moyen d'additions manganésées, et de créer une atmosphère moins oxydante.

Les essais de pliage à froid après trempe donnent une idée de la dureté du métal. Tout acier contenant encore suffisamment de carbone, de manganèse et de silicium prendra la trempe, acquerra par suite une dureté bien supérieure à celle du métal refroidi lentement ; la trempe, accentuant les propriétés durcissantes des corps étrangers, décèlera leur présence avec beaucoup plus de sensibilité. Le pliage des galettes et des barreaux se fait au pilon, sur une enclume à encoche évasée. L'éprouvette étant appuyée sur les bords de l'encoche, on place au milieu l'arête, arrondie sous un rayon de 5 à 8 millimètres, d'un dégorgeoir, sur lequel on frappe à petits coups de pilon ; l'éprouvette se cintre, se rompt ou bien plie jusqu'à bloc. Les galettes ainsi pliées sont soumises à un second pliage de la demi-circonférence doublée, à angle droit sur le premier. Si ce second essai ne fait pas naître de criques, c'est que l'on a un métal très doux complètement affiné, renfermant moins de 0,06 0/0 de carbone et moins de 0,20 0/0 de manganèse ; d'ordinaire, à la pre-

mière éprouvette, la rupture se produit lors du premier pliage que l'on prend, ou bien des criques apparaissent après le pliage à bloc.

Si les éprouvettes sont faites avec les mêmes dimensions, forgées et trempées dans des conditions analogues, l'angle de rupture ou l'angle de pliage jusqu'à l'apparition des criques peuvent, avec une approximation très suffisante, être considérés comme en relation avec la résistance à la traction et l'allongement. Chaque four travaillant dans des conditions déterminées peut ainsi se créer une échelle comparative qui guidera son travail. Si l'on a dépassé le degré voulu de l'affinage, on opère immédiatement la réduction du bain en faisant une addition de fonte manganésée ou siliciеuse, ne contenant ni soufre ni phosphore.

Éprouvettes indiquant la température. — Les gazogènes et les récupérateurs ayant été convenablement préparés, on donne au four, en même temps qu'on règle l'affinage, toute la quantité de gaz disponible, sans néanmoins s'exposer à endommager les maçonneries. On dispose le bain dans les meilleures conditions possibles pour lui faire absorber le maximum de chaleur : la scorie a été évacuée, si elle se trouvait en couche trop épaisse, ou additionnée de fondants, si elle était trop sèche. Le spath fluor communique beaucoup de fluidité aux laitiers calcaires, mais il a l'inconvénient de ronger les parois du four, siliceuses, dolomitiques ou magnésiennes. On préfère souvent créer une scorie manganésée, bien qu'elle soit plus coûteuse, en ajoutant des minerais manganésés ; si le bain est oxydé, on chargera du spiegel qui se comportera comme un réducteur vis-à-vis du métal, et comme un fondant à l'égard de la scorie.

Pour juger de la température du bain, on prélève une pochette d'acier au milieu du four, et on la verse lentement sur le dallage en fonte ; la manière dont le métal s'écoule montre son plus ou moins de fluidité. Pour que ces indications soient comparables entre elles, il faut que la pochette soit toujours employée dans les mêmes conditions : on la prend froide, on l'introduit dans le four en la laissant flotter à la surface du bain, on l'incline sans l'enfoncer de manière à la garnir de scorie qui l'empêche de fondre, pendant quinze secondes environ, puis on la plonge vigoureusement dans le métal et on la retire tout de suite. Quand on la renverse à terre, des étincelles s'envolent en tous sens ; l'acier s'étend d'autant plus loin sur les plaques qu'il est plus fluide, c'est-à-dire plus chaud ; la surface de la pochette ne doit pas conserver de traces de métal solidifié. Il

n'est aucunement nécessaire de se servir de pyromètres, même simples; ces indications suffisent largement pour qu'avec un peu d'expérience on ne commette point d'erreur sur la température du bain.

Lorsqu'on n'est pas arrivé à la température voulue au moment où l'affinage est terminé, on empêche le bain de s'oxyder plus profondément en lui ajoutant des fontes pures: spiegel, silico-spiegel ou ferrosilicium, dont les éléments fixent l'oxygène. La combustion du silicium est suffisamment exothermique pour compenser et dépasser même la chaleur de fusion de l'addition; il est bon cependant de ne pas ajouter uniquement du silicium, car la silice ne se sépare pas toujours parfaitement du métal, qu'elle rend alors aigre et cassant. Le silico-spiegel est d'un emploi commode : il n'introduit que peu de carbone dans le bain, dont il ne modifie pas notablement la dureté, et s'oxyde très rapidement. En outre, pour activer le chauffage, on ne conservera qu'une mince couche de crasse bien fluide, et on ouvrira les portes aussi rarement que possible, afin d'éviter les rentrées d'air froid.

Arrêt de l'opération en décarburation incomplète. — Quand le bain est arrivé à température voulue, on peut le maintenir en cet état pendant un certain temps sans que sa composition chimique varie sensiblement, au moyen d'additions convenables de fonte, spiegel ou hématite. On a donc tout le temps nécessaire pour forger soigneusement les éprouvettes; on fait même quelquefois une analyse rapide du métal, sur la plateforme du four, mais elle est loin d'être indispensable : les essais mécaniques suffisent.

On peut opérer la décarburation partielle aussi bien sur sole basique que sur sole acide; dans ce dernier cas, il n'est besoin d'aucune addition pour former la scorie et protéger la sole. Si le garnissage est en dolomie ou en magnésie, comme la fonte est alors siliceuse, on doit ajouter un poids de chaux suffisant pour saturer la silice provenant de l'affinage, et former un monosilicate; d'ailleurs on fait des additions éventuelles de chaux ou de castine pulvérisée, si la scorie paraît trop fluide et rongeante. Dès que l'on a atteint le point voulu, on procède aux additions finales.

Arrêt en décarburation complète sans déphosphoration. — Ce mode opératoire s'applique également aux deux natures de soles; c'est le plus fréquent et celui qu'il est nécessaire d'employer pour la

production des aciers doux et extra-doux. On poursuit l'affinage jusqu'à départ complet du carbone et du manganèse, dont l'absence est caractérisée par ce fait que le métal ne prend plus la trempe ; les éprouvettes, plongées dans l'eau, plient à bloc sans montrer de criques sur les angles ; avec le métal extra-doux, les galettes rondes subissent même le deuxième pliage, qui quadruple leur épaisseur. Il peut arriver que, durant ces essais, des criques se produisent, qui n'accusent pas la dureté, mais un état d'oxydation très prononcé ; la cassure est terne, terreuse. Il faut, en ce cas, désoxyder le bain immédiatement avec du ferromanganèse, qui raffine sans durcir notablement.

Il est plus facile d'opérer exactement en décarburation complète qu'autrement ; mais, pour la production de métaux demi-durs ou durs, cette pratique est coûteuse, puisque les additions doivent être plus considérables, aussi bien pour obtenir le durcissement que pour combattre une oxydation plus prononcée. La décarburation complète sur sole basique permet une légère désulfuration et une déphosphoration par l'influence de la scorie. Pour la production d'acier doux ordinaire, on travaille fréquemment en décarburation totale, sans chercher à régler exactement le bain ; dès qu'on atteint un pliage à bloc et que le métal est chaud, on procède aux additions ; on réalise ainsi une économie sur le poids de ces dernières, tout en gagnant du temps.

Arrêt en décarburation complète avec déphosphoration. — Bien que, dans le procédé Martin, le départ du phosphore ne soit pas entièrement subordonné à la disparition du carbone, il n'est pas possible d'obtenir des aciers à moins de 0,060 0/0 de phosphore en partant de fontes phosphoreuses, sans décarburer complètement. Une sole basique s'impose, naturellement, ainsi que des additions de castine. La proportion de chaux ajoutée comme déphosphorant doit être au moins cinq fois supérieure au poids de phosphore contenu dans le bain, non compris celle qu'il convient d'ajouter pour saturer la silice.

Il est facile de rendre à la scorie déjà phosphatée une partie de son pouvoir absorbant, en en faisant écouler une partie, puis chargeant de nouveau du calcaire. La déphosphoration nécessite généralement deux décrassages, le poids de la scorie étant élevé ; le premier est fait avant que la déphosphoration et la décarburation soient complètement achevées, car la scorie nuit au chauffage en raison de

son épaisseur; le métal contient environ 0,100 de phosphore. Ce décrassage est aussi complet que possible; il est suivi aussitôt d'une addition calcaire, qui, se dissolvant dans ce qui reste de laitier, achève la déphosphoration; en même temps, on chauffe le bain pour la coulée, et on prend les éprouvettes de pliage. On élimine partiellement la deuxième scorie quand son rôle est terminé; elle est peu fluide, et il faut souvent l'éclaircir avec du spath fluor ou du manganèse.

Par suite de la vive oxydation qu'entraîne une déphosphoration complète, les éprouvettes présentent souvent des criques dues à la présence de l'oxyde de fer; aussi doit-on faire, tout en continuant le chauffage et la déphosphoration, des additions de ferromanganèse ou de spiegel, mais non de fonte hématite, qui contient trop peu de manganèse. Le métal déphosphoré sera finalement toujours plus manganésé que le métal obtenu, même sur sole basique, sans déphosphoration. Avec une charge initiale à 0,5 0/0 de phosphore en moyenne, on peut obtenir un acier extra-doux à 0,035 0/0 de phosphore, au moyen de trois décrassages successifs, suivis d'additions de chaux; le métal doit toujours rester riche en manganèse (0,18 0/0 au minimum) jusqu'au moment des additions finales.

ADDITIONS FINALES

Les additions finales ont pour but, comme dans la conversion, la réduction de l'oxyde de fer contenu dans le bain et la recarburation de celui-ci. Il y a lieu de remarquer que la fusion sur sole provoque généralement une oxydation moindre que le soufflage; le métal Martin nécessitera donc théoriquement une moindre quantité de réactifs désoxydants que l'acier soufflé. Cependant, au convertisseur, une fois l'addition faite, le métal est soustrait à toute action oxydante (à moins qu'on n'opère le mélange par injection d'air); en outre, la scorie de conversion est moins peroxydée que la scorie Martin; elle contient à peine d'oxydes de fer supérieurs, puisque l'oxydation s'est portée directement sur le métal sans nécessiter d'intermédiaire. On peut donc, au convertisseur, espérer que toute l'énergie réductrice de l'addition est absorbée par le métal.

Il n'en est pas ainsi au four Martin ; même quand l'arrivée d'air est diminuée après chargement des additions, l'atmosphère contient toujours un peu d'oxygène, et la scorie absorbera certainement une partie des éléments réducteurs pour passer elle-même à un état d'oxydation moins prononcé. En pratique, les additions faites au four Martin, particulièrement après décarburation complète, sont au moins égales et souvent supérieures à celles que demanderait au convertisseur la production d'un acier de même nuance.

Détermination des additions. — Le réglage des additions est donc moins facile, et demande plus d'expérience que dans la conversion, en raison de l'influence secondaire de l'atmosphère et de la scorie. On devra tenir compte, dans les résultats fournis par diverses coulées successives, des circonstances particulières qui accompagnent la fusion des additions : intervalle entre leur chargement et la coulée, quantité, nature et aspect de la scorie. On peut toujours, avant de déterminer le poids des réducteurs, connaître le résultat des essais mécaniques et chimiques de l'opération précédente, sur lesquels on se base ; mais, d'un autre côté, la lenteur des opérations fait qu'un seul fondeur ne peut pas toujours suivre d'un bout à l'autre la coulée en travail, et qu'il doit s'en rapporter souvent à l'appréciation de son collègue : une bonne entente entre les deux postes est donc indispensable.

Le réglage se fait par approximations successives ; il suffit de faire varier ensemble les rapports des divers réducteurs durcissants jusqu'à obtenir la composition demandée. Les opérations manquées proviennent de ce que les réducteurs ajoutés se sont comportés autrement qu'on ne s'y attendait, les uns étant totalement oxydés, les autres ne l'étant pas et subsistant comme durcissants. Ces variations sont la conséquence des actions de l'atmosphère, de la température et de la scorie. Si par exemple la réduction est opérée par le carbone, alors qu'on l'estimait devoir être faite par le manganèse, le bain sera moins carburé et plus manganésé qu'on ne le voulait ; d'où des différences notables dans les propriétés mécaniques finales.

Les additions normales varient, pour chaque four, avec le métal final pris comme type de l'affinage complet, avec les dimensions, la surface du bain, la facilité de chauffage. Elles se modifient peu à peu pour un même four pendant la durée d'une campagne ; elles restent en moyenne sensiblement égales à celles de la conversion, ou tout au moins leurs variations sont semblables.

Mode d'emploi des additions. — En principe, les additions sont toujours chargées dans le four, sauf l'aluminium, qui est jeté dans la poche en menus fragments, avant et pendant la coulée. Il en résulte une homogénéité bien supérieure à celle que produit le mélange dans la poche, tel qu'on le pratique pour les additions de spiegel dans le procédé Thomas. Les alliages mis dans le four ont en effet le temps de réagir et de se combiner complètement avec le bain affiné ; si d'ailleurs la diffusion n'était pas encore parfaite au moment de la coulée, les remous produits par celle-ci l'achèveraient certainement. Avec les fours à déphosphoration, on pratique quelquefois, pour éviter une rephosphoration par le carbone au contact de la scorie, le mélange du spiegel pour acier dur dans la poche même, ce spiegel étant préalablement fondu dans un four à réverbère ; c'est là une cause d'infériorité pour le métal ainsi fabriqué.

Comparé à l'acier de conversion, l'acier sur sole contient moins de gaz dissous ; la haute température à laquelle il est resté longtemps soumis à l'abri de l'action directe des gaz a permis l'élimination d'une partie des éléments gazeux primitivement dissous pendant l'affinage. Il nécessite moins de calmants, et reste moins disposé aux dégagements brusques qui provoquent des tiges de bottes ; les gaz qui s'en échappent se séparent, grâce à une diminution de la solubilité, au moment de la solidification, et tendent par suite à faire remonter les lingots. Quand on craint cet accident, il est bon d'introduire dans le métal un peu de silicium, au moment même de la coulée ; comme le poids de cette addition est le plus souvent très faible, on la fait dans la poche. Pour hâter la fusion du ferrosilicium, on réduit son poids au minimum par l'emploi d'alliages riches sous un état physique très divisé ; le mélange est fait par petites portions et d'une manière continue pendant la première moitié du remplissage de la poche, de façon à assurer une combinaison et une diffusion régulières. On emploie dans ce but des ferrosiliciums à 50 0/0 et des silico manganèses renfermant 40 à 45 0/0 de silicium et 50 à 55 0/0 de manganèse.

Comme les additions sont toujours préparées froides, on peut les peser exactement ; elles sont cassées en fragments de 5 à 6 kilogrammes, afin de fondre rapidement. Quand leur poids total est inférieur à 1,5 0/0 du poids du bain, on les charge à la pelle en les lançant vigoureusement par les diverses portes, mais leur chute est alors souvent accompagnée de projections qui peuvent sérieusement endommager la voûte. Au delà de 2 0/0 du poids du bain, il est

nécessaire de les chauffer, sans quoi leur fusion serait lente et absorberait trop de chaleur. En effet, en supposant que la quantité de chaleur employée à fondre une addition de 3 0/0 du poids total est uniquement fournie par le bain, on constate que la température de celui-ci s'abaisse de 50° ; la réaction du manganèse sur l'oxyde de fer est faiblement exothermique, et ne peut pas élever sensiblement la température du bain. On empile donc les additions devant les portes latérales à l'intérieur du four, dix à vingt minutes avant de les jeter dans le bain ; la porte du milieu reste libre pour qu'on puisse prendre les éprouvettes. Elles rougissent et atteignent 700 à 800°. Quand le moment est venu, on les pousse dans le four avec une pelle appuyée sur les rouleaux.

Dès que les réducteurs arrivent au contact du bain oxydé, un fort bouillonnement se produit, plus énergique encore que dans la conversion, car au four Martin la scorie surnageante n'est pas refroidie par l'air extérieur, et est plus fluide que le métal lui-même. On agite la surface avec un crochet, pour immerger complètement les fragments solides ; ce mélange peut être fait également au moyen de perches de bois qui dégagent des gaz réducteurs en se carbonisant. La durée de la fusion des additions varie avec la facilité de chauffage du four; tant que la surface du bain est soulevée par des bouillonnements tumultueux, la fusion est incomplète.

Dès les additions enfournées, on réduit encore l'arrivée d'air pour avoir une atmosphère neutre; cependant, on a tout intérêt à hâter la fusion, car la scorie se trouve elle-même d'autant plus réduite par le métal que la durée du contact est plus longue. En conservant longtemps dans le four un bain avec ses additions, on voit sa dureté diminuer peu à peu, et revenir à celle du métal primitif. Si, pour une raison quelconque, on ne peut pas effectuer la coulée quand le moment en est venu, il est nécessaire, pour maintenir la même qualité, de faire de nouvelles additions.

Pour s'assurer que la fusion des additions est terminée, on coule une éprouvette de métal dans une coquille en fonte : aucune étincelle ne se dégage si la fusion est complète et le métal suffisamment raffiné; la prise se fait rapidement, sans remonte sur les bords; le métal dur se solidifie en retassant légèrement, le métal doux avec quelques étincelles. Si cet essai laisse supposer que les additions ont été insuffisantes, on s'en assure en forgeant et pliant une seconde éprouvette, après quoi on fait les additions complémentaires. On prend même, dans beaucoup d'aciéries, une éprouvette de métal

après additions ; on l'essaie, on fait les corrections nécessaires, et on laisse le bain au four jusqu'à ce qu'on ait obtenu exactement l'angle de pliage désiré.

Enfin, quand on est certain d'avoir la qualité requise, on procède à la coulée en perçant le trou de bouchage du four.

COULÉE

Coulée à la pique. — La coulée était autrefois exécutée à la pique, sans l'intermédiaire d'une poche. Des trucks portant des lingotières circulent sur une voie installée le long du four ; elles y sont déplacées à mesure de leur remplissage. Le trou de coulée, prolongé par un chenal long et étroit, est débouché avec une pince ; dès qu'une lingotière est remplie, on le ferme avec un tampon d'argile comme un cubilot à fonte, pour l'ouvrir de nouveau au-dessus de la lingotière suivante. Ce mode opératoire présentait les inconvénients suivants : le jet d'acier frappait les parois des lingotières irrégulièrement, ce qui produisait des pailles sur les lingots ; il était impossible de couler exactement au poids demandé ; enfin les derniers lingots étaient mélangés de crasse et inutilisables.

Coulée en poche. — Actuellement on vide toute la charge du four dans une poche avec laquelle on remplit ensuite les lingotières. Le trou de coulée peut être très large, de sorte que la vidange est rapide (un four de 20 tonnes a un trou de 12 centimètres de diamètre) ; il est pratiqué au point le plus bas de la sole, au milieu du four, sur la grande face opposée aux portes de chargement. Il est prolongé par un chenal incliné, profond, garni de matériaux réfractaires. L'inclinaison du chenal dépend de sa longueur et de la qualité courante de l'acier que l'on fabrique ; plus il est long, plus la pente doit être prononcée, afin qu'il puisse débiter sans éclaboussures le métal que lui fournit le trou de la coulée. Avec les métaux durs, sujets à se figer rapidement, l'inclinaison est relativement plus forte que pour des aciers doux, afin que la vitesse d'écoulement soit plus considérable ; elle atteint 15° au voisinage du bouchage, et 25 à 30° à l'extrémité la plus éloignée du four. Le chenal est un couloir en tôle oscillant, suspendu à deux tourillons désaxés légèrement vers son extrémité antérieure ; un verrou le maintient dans la position de coulée. Dès que

celle-ci est terminée, on tire le verrou; le chenal bascule, forme écran et empêche l'arrivée de la crasse dans la poche.

A moins que l'on ait plusieurs fours en service, la poche ne sert qu'à de longs intervalles ; on doit donc la réchauffer avant la coulée au-dessus d'un petit foyer. Au moment de charger les additions finales, on amène la poche sous le trou de coulée, que le couleur se tient prêt à déboucher sitôt qu'il en recevra l'ordre. Pour accélérer la percée du bouchage, on prépare déjà le trou en dégarnissant à la pince la surface externe, formée d'argile siliceuse; on enlève avec une pelle ronde et un balai la poussière qui tombe dans le chenal. Le bouchage lui-même, exécuté en magnésie ou en dolomie pour les fours basiques, et en sable quartzeux pour les fours acides, est également dégradé avec précautions, jusqu'à n'en laisser que la couche qui s'est scorifiée. Pour le bouchage basique, la préparation du trou se fait en découpant une carotte centrale au moyen d'une longue sonde; on la détache quelques instants seulement avant la coulée en la soulevant par la base, et on la retire avec une pelle. Comme la magnésie possède encore une assez grande valeur, on en recueille tout ce que l'on peut retirer sans danger.

Le couleur se place soit latéralement sur les passerelles entourant le four, soit vis-à-vis le chenal, sur une plate-forme adaptée au chariot de la poche; il se trouve en ce cas à 3 ou 4 mètres du bouchage, et il doit employer des pinces et des sondes très longues, qu'il appuie sur un tréteau accroché aux passerelles. Pour donner plus de légèreté à ces sondes, on les fait tubulaires et de diamètre décroissant vers l'extrémité; la pointe seule est pleine, et est réparée à chaque coulée.

Percement du bouchage. — La percée de la dernière cloison scorifiée se fait sur l'ordre du fondeur, par l'extérieur ou par l'intérieur du four. Par l'extérieur, le couleur se sert d'une sonde semblable aux précédentes; comme il est exposé à recevoir des étincelles, il porte des vêtements de cuir et un masque en toile métallique. Il enfonce vigoureusement la sonde dans la région inférieure du bouchage, qui cède aussitôt, et s'élargit sous la poussée du métal : en quelques secondes, le jet atteint sa dimension normale. La poche est disposée de manière que le métal en rencontre le fond aussi loin que possible des quenouilles, pour qu'elles n'aient pas à souffrir de la violence du choc. Pour que rien ne reste sur la sole, le fondeur pousse avec un crochet le métal et la scorie qui peuvent obstruer le

trou de coulée; puis il arrête momentanément la sortie de la crasse qui dégoutterait le long du chenal, en y jetant une pelletée de chaux en poussière (ou de quartz pour une sole acide) pendant qu'on éloigne la poche. On prépare aussitôt le four pour la coulée suivante.

En perçant le bouchage par l'intérieur, on vide le four aussi rapidement, sans exposer le couleur au moindre danger. Le bouchage est dégarni pendant que la poche est sous le chenal; quand arrive le moment de couler, on introduit par la porte du milieu une longue sonde appuyée sur la traverse qui sert au décrassage, puis on pique vivement le bouchage dont on a repéré la place : la cloison cède tout entière sous le choc, et livre passage au métal. On pique toujours très bas, pour que la vidange soit plus rapide et bien complète; d'ailleurs, si l'on a mal dirigé la sonde, on frappe ainsi sur la sole, ce qui vaut mieux que d'ébranler les costières.

ACCIDENTS DE MATÉRIEL SURVENANT PENDANT L'OPÉRATION

Avaries à la sole et au laboratoire. — Les soulèvements de la sole ne présentent pas de danger immédiat lorsqu'ils se produisent peu de temps avant la coulée; mais, quand le revêtement en briques (de silice, de magnésie ou de fer chromé) qui garnit les plaques de fonte constituant le fond de la sole commence à être attaqué — ce qu'indique un bouillonnement persistant en un même point — il y a lieu de prendre des précautions pour éviter une percée. Même si la coulée n'est pas complètement prête, on avance la poche pour pouvoir vider le four aussitôt qu'on le jugera nécessaire, et on suit attentivement les progrès de l'avarie.

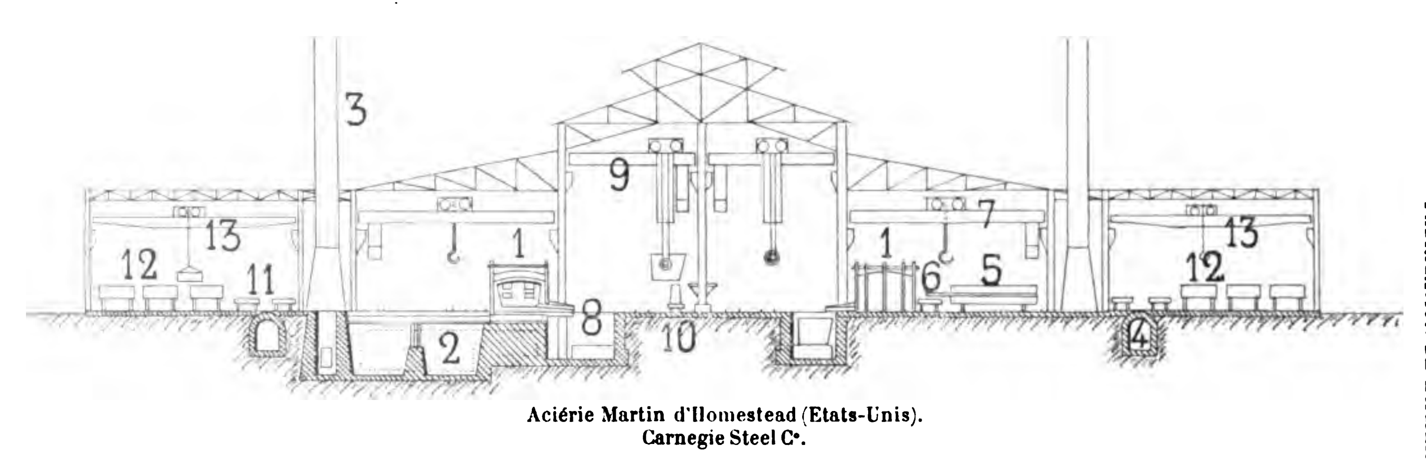
Une percée de sole entraîne, pour le four, un arrêt immédiat souvent prolongé. L'accident est moins grave lorsqu'on possède une cuvette de sûreté placée sous la sole même et débouchant sous le chenal; elle s'étend au-dessus des chambres, ou bien, quand celles-ci forment deux massifs distincts, son point le plus bas est situé entre ces chambres. Le métal peut alors s'écouler, par la cuvette, dans une fosse placée en avant du four ou dans la galerie qui sépare les chambres, d'où l'on peut le retirer facilement. Quand le métal pénètre dans les récupérateurs, ceux-ci sont à refaire entièrement; la démolition des briques englobées dans l'acier figé est pénible, et peut même nécessiter le démontage complet du four.

Un bouchage mal exécuté peut céder brusquement pendant l'affinage. Le métal s'écoule et remplit la fosse de sûreté, à moins que l'on n'ait prévu l'accident et fait avancer la poche. Il est préférable de couler des lingots même inutilisables plutôt que d'encombrer la fosse, car, pour nettoyer celle-ci, il faut, le plus souvent, arrêter la fabrication et faire de sérieuses réparations à la fosse de coulée, tandis que le changement de la poche et des lingotières se fait en cours de marche. Si on ne peut pas couler en lingots, on coule par le bec, en prenant les dispositions nécessaires pour avoir des scraps faciles à enlever.

Les piédroits sont généralement assez épais et résistants pour ne pas être un danger dans une opération. Lorsque par économie on a employé, dans un four basique, à leur partie supérieure, de la silice reposant directement sur la magnésie ou la dolomie et sans interposition d'une couche de fer chromé, il peut se produire à cette place une fusion due à la scorification, ce qui entraîne la détérioration des blindages et des armatures. Il faut, en ce cas, couler au plus tôt.

Les seuils des portes sont plus exposés que les piédroits, parce qu'ils ne sont pas maintenus par le poids de la maçonnerie supérieure et que des infiltrations s'y produisent. Quand l'un d'eux vient à percer, on aveugle immédiatement le trou avec des matières réfractaires de même nature, ou simplement de l'argile ; il faut se hâter, car le passage du métal augmente rapidement les dimensions du trou, et au bout de quelques minutes toute réparation est devenue impossible. On garnit la fente de terre humide par l'extérieur ; puis, ouvrant la porte, on introduit de la dolomie (ou du quartz) contre le talus, et on l'applique vigoureusement avec une pelle qu'on maintient sur la paroi jusqu'à complète adhérence ; on refroidit en outre l'intérieur du four à cet endroit en plaçant sur la partie réparée un bloom ou un bout de lingot. Si l'on n'arrive pas à aveugler la percée, on fait un chenal en sable pour que le métal qui s'écoule ne se soude pas au dallage en fonte de la plateforme, et qu'il soit dirigé dans le sous-sol par le panneau de décrassage. On avance en même temps la poche pour vider le four, tandis qu'on arrose la fissure à la lance ; aucune explosion ni projection n'est à craindre, puisque la vaporisation se fait en dehors du four. Quand celui-ci est vide, on démolit le seuil jusqu'à la région endommagée, et on le refait à neuf.

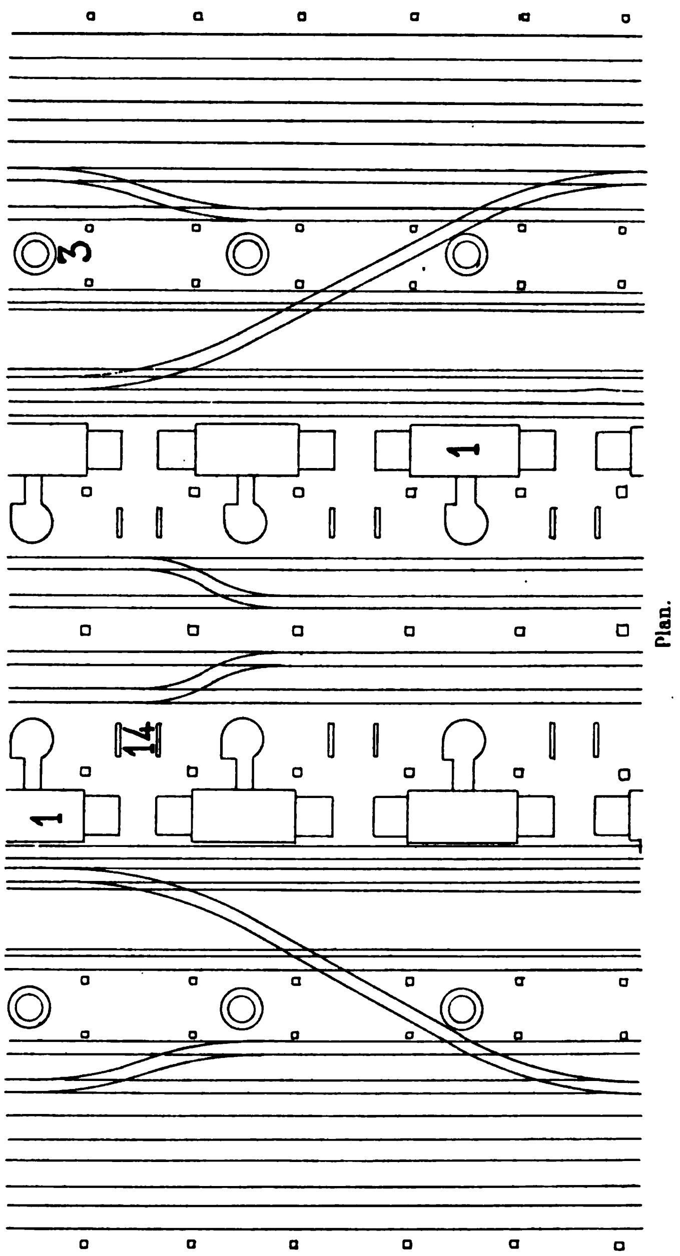
Les carneaux de gaz et d'air arrivent par usure graduelle à se percer ou s'effondrer la combustion se produit alors avant que les gaz



Aciérie Martin d'Homestead (Etats-Unis).
Carnegie Steel C°.

Coupe transversale.

1. Fours de 50 tonnes. — 2. Récupérateurs. — 3. Cheminée. — 4. Collecteur de gaz. — 5. Machine à charger. — 6. Caisses de la charge. — 7. Pont roulant (puissance = 75 tonnes). — 8. Fosse de coulée. — 9. Pont roulant de coulée. — 10. Train de lingotières. — 11. Wagonnets de la charge. — 12. Wagons de ferraille. — 13. Pont roulant (puissance = 5 tonnes). — 14. Supports pour la préparation des poches.
Halle de coulée : largeur = 26 mètres.
Halle des fours : largeur = 18m,60. — (Chacune a 1 batterie de 12 fours).
Halle de préparation des charges : largeur = 18m,80.



Plan.

n'arrivent dans le laboratoire, en arrière du nez de la cloison de séparation. Le four chauffe de plus en plus mal ; l'accident s'aggrave à chaque instant, vu la haute température à laquelle sont soumises les maçonneries environnantes ; la flamme se raccourcit et les chambres descendantes se refroidissent. Il est préférable d'arrêter immédiatement plutôt que d'endommager davantage les brûleurs, dont les briques scorifiées s'écroulent, tombent dans les chambres, qu'elles percent ou obstruent. Dans les fours bien construits, la réparation, par l'arrière des montées de gaz, est généralement possible sans qu'il soit nécessaire de mettre hors feu.

Lorsque les carneaux, trop chauffés ou trop usés, s'effondrent partiellement et se bouchent, le passage des gaz se trouve réduit ; mais, comme il y a plusieurs carneaux qui remplissent le même office, il est rare que la coulée soit perdue pour cela. L'opération achevée, il est bon de procéder à une réparation immédiate, qui n'interrompt d'ailleurs point la marche du four.

Quand on s'aperçoit qu'une partie quelconque du four s'use d'une façon anormale, on la refroidit, si c'est possible, par un jet d'air ou de vapeur : il est facile de monter rapidement une lance à vapeur, au moyen d'un tuyau métallique flexible. Une paroi en briques, même réduite à 4 ou 5 centimètres d'épaisseur, se maintient telle quelle, sans percer, quand on la rafraîchit de cette manière.

Quand les carneaux de fumée sont obstrués et que le tirage se fait mal, il y a surpression près des brûleurs des chambres descendantes. La flamme peut être refoulée, à l'extérieur, à travers les joints des portes : les armatures rougissent, les cintres sont corrodés et peuvent tomber avant la fin de l'opération. On garnit le haut de la porte avec des briques, pour aveugler l'ouverture qui s'est formée, et on termine la coulée en laissant la porte ainsi bouchée ; si elle tombe, on la remplace provisoirement par un mur fait à sec, en empilant des briques sur le seuil. Aussitôt après la coulée, on refait le cintre et on remet une porte neuve. Cet accident ne présente pas autrement de gravité, si on prend les précautions nécessaires pour que les armatures des piédroits ne soient pas atteintes.

Quand la combustion du gaz s'effectue trop près de la voûte, celle-ci s'abîme rapidement ; c'est pour cette raison que l'arrivée d'air est placée à la partie supérieure et plonge franchement, afin de rapprocher la combustion de la sole. Une voûte trop chauffée coule peu à peu, jusqu'à ce que la région la plus mince s'écroule dans le bain. Lorsque cet accident arrive, il faut, pour achever l'opé-

ration, boucher l'ouverture à tout prix, car les gaz auxquels elle livre passage en rongent les bords, l'agrandissent, et ne chauffent plus le métal. Quand le trou est petit, on le ferme simplement avec des briques posées à plat, ou, pour ne pas surcharger la voûte par une épaisseur exagérée, on dispose une tôle garnie de terre argileuse humide, qu'on remplace de temps en temps; après la coulée, on remet une pièce à la voûte, sans pour cela mettre le four hors feu. Quand l'effondrement intéresse une surface considérable, il est impossible d'achever l'opération : on coule aussitôt dans la poche.

Accidents divers. — Les organes de manœuvre des vannes d'inversion et de réglage peuvent se fausser ou se briser; les tiges de commande se cassent assez souvent dans le voisinage des clavettes. Une cloche à gaz simple peut être tournée à la main en y mettant le nombre d'hommes suffisant, jusqu'à la fin de l'opération; par précaution, il faut, pendant cette manœuvre, fermer le registre à gaz, car la rotation est assez lente, et pourrait provoquer une explosion. On soulève la cloche avec des leviers jusque dans la position où elle peut tourner, on l'oriente comme il convient, et on la laisse redescendre dans son logement.

Quand la vanne à gaz est tombée, toute arrivée de gaz au four est suspendue, et le chauffage arrêté. On ferme alors aussi hermétiquement que possible les portes du four, de façon à lui conserver sa chaleur; on ferme également l'air et les vannes isolant les gazogènes, pour pouvoir ouvrir la caisse de la cloche à gaz ; on fait la réparation en maintenant la vanne sur son siège, à la place où elle est tombée, puis on rend le gaz au four. Le métal s'est refroidi, peut-être même partiellement solidifié; on en facilite la fusion par de nouvelles additions de fonte, et on continue l'affinage. Quand on prévoit que la réparation sera longue, il vaut mieux vider complètement le four avant de l'entreprendre.

Si la production de gaz est momentanément insuffisante, il devient difficile d'atteindre la température finale nécessaire; quand la différence entre la température de combustion et celle du bain est trop faible, l'échange de chaleur ne se fait plus que très lentement. Il est bon de réduire encore momentanément l'arrivée du gaz en diminuant aussi le tirage, de manière à préparer pour plus tard un surcroît de production qui donnera un chauffage rapide. Si par exemple les grilles des gazogènes sont trop basses, on les remonte et on les réchauffe, même au détriment de la production du moment,

pour qu'elles soient ensuite en mesure de fournir en peu de temps le volume de gaz nécessaire à la coulée.

Quand le gaz arrive au four en moindre quantité, on peut encore y remédier en l'enrichissant, en augmentant sa teneur en hydrogène par l'emploi de houilles riches en produits gazeux. Au bout de deux ou trois heures, l'amélioration se manifeste déjà, le pouvoir calorifique du gaz devenant beaucoup plus considérable.

Coulée restée dans le four. — Il peut arriver que pour une raison quelconque il soit impossible de continuer le chauffage et de couler en poche. Toute la charge reste donc sur la sole, et il faut la refondre lors de la remise en marche. Le four étant remis en feu, on défonce le garnissage réfractaire qui bouche le trou de coulée pour mettre à nu le métal qui s'est figé derrière, et on place tout autour de ce métal des gueuses de fonte silicieuse dont la fusion accélérera celle de l'acier. Tant que l'orifice reste bouché, on tire par les portes le mélange fondu de crasse et de métal, en maintenant l'atmosphère fortement oxydante ; on hâte la scorification par des additions de spath fluor. Dès que le trou est débouché, on tire constamment le métal par l'ouverture au moyen de crochets, pour éviter une nouvelle obstruction. Si la fusion de l'acier se fait mal, on ajoute de la fonte et du sable siliceux qui donne plus de fluidité à la scorie, jusqu'à éliminer ainsi tout le métal par le trou de coulée ; on achève le nettoyage de la sole avec des crochets, on la chauffe fortement, de manière à liquéfier la surface endommagée, puis on la refait à neuf. On peut ainsi vider un four resté plein en soixante ou quatre-vingts heures.

CHAPITRE XIII

CHAUFFAGE DES FOURS MARTIN

MODES DE CHAUFFAGE DES FOURS MARTIN

On ne peut obtenir dans les fours à sole une température suffisante qu'en y brûlant des combustibles liquides ou gazeux, au moyen d'air préalablement chauffé à 800° ou 900° ; la chaleur propre du comburant et du combustible s'ajoute ainsi à leur chaleur de combinaison.

Chauffage au pétrole. — L'emploi du combustible liquide est limité aux régions où les huiles de naphte se trouvent en abondance et à bon marché ; ce mode de chauffage est assez répandu en Russie et aux États-Unis. Le pétrole, provenant d'un réservoir isolé et surélevé, est amené dans une buse, et insufflé dans le jet d'air en gerbe pulvérisée, au moyen d'un injecteur à vapeur. L'inflammation est immédiate et donne une flamme longue et très chaude ; les hydrocarbures dissociés brûlent suivant leur ordre d'affinité pour l'oxygène, et la réaction est complète grâce à la finesse des gouttelettes projetées. Sur chacune des têtes du four sont disposés plusieurs injecteurs semblables, mobiles, et réglés de manière que le nez des buses affleure celui des cloisons des carneaux d'air chaud ; l'axe de la gerbe est incliné vers la sole. Comme le naphte n'est pas chauffé avant d'être brûlé, deux chambres à air suffisent comme récupérateurs ; il en résulte une économie notable dans la construction du four. L'air est en outre plus chaud que celui des fours à gaz, puisque toutes les fumées sont employées pour son réchauffage.

Vu la grande puissance calorifique du naphte, la fusion au pétrole

est très rapide : par contre, elle peut, en quelques instants, endommager la voûte et les piédroits, et réclame donc une surveillance attentive.

Chauffage au gaz naturel. — Les exploitations de gaz naturel sont fréquentes aux États-Unis ; elles permettent un mode de chauffage des plus économiques. Les gaz sont canalisés et employés au même titre que les gaz de gazogènes ; leur pouvoir calorifique est élevé, de sorte qu'on n'a besoin que de récupérateurs de dimensions moyennes : leur volume est égal à 0,6 fois celui des chambres à air.

Chauffage au gaz de gazogènes. — La majeure partie des fours Martin d'Europe sont chauffés au gaz de gazogènes obtenu par gazéification spontanée d'un combustible carboné dans un appareil approprié. La composition du gaz qu'on peut obtenir ainsi varie beaucoup suivant la disposition et la conduite de l'installation.

Le carbone, maintenu à la température du rouge en contact avec une quantité d'air réduite, dont la circulation est lente, se combine avec l'oxygène pour former l'oxyde de carbone CO, capable de fixer encore un atome d'oxygène. Ce gaz est donc un combustible ; il produit en brûlant 2.400 calories par kilogramme de carbone. La chaleur que dégage la formation de l'oxyde de carbone suffit largement à maintenir le carbone à l'état incandescent, malgré les refroidissements de toutes sortes.

On réalise également la gazéification d'une autre manière au moyen de vapeur d'eau : celle-ci est, au rouge, vivement décomposée par le carbone, avec production d'oxyde de carbone et d'hydrogène :

$$C + H^2O = CO + H^2 ;$$

mais cette réaction est endothermique ; elle ne se continue que si une source étrangère fournit la chaleur nécessaire.

Industriellement, la gazéification peut être obtenue d'une manière rigoureusement isothermique par la réunion des deux opérations en une seule : l'excès de chaleur dû à la première oxydation de l'oxyde de carbone par l'air effectue la décomposition de la vapeur d'eau, ce qui donne naissance à un gaz mixte, renfermant hydrogène, oxyde de carbone et azote.

Les combustibles naturels ne sont pas uniquement formés de car-

bone pur ; ils contiennent, outre les cendres, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote, parfois du soufre. La gazéification d'une houille ainsi constituée comprendra deux opérations : 1° décomposition des éléments autres que le carbone, produisant des gaz divers, azote, hydrogène, vapeur d'eau, ammoniaque, hydrocarbures, composés ternaires ; 2° combustion partielle du carbone pur au contact de l'air et de la vapeur d'eau. La distillation absorbe de la chaleur, puisqu'elle consiste dans la décomposition de certaines combinaisons préexistant dans la houille, et qu'elle exige que le combustible soit porté à la température où cette décomposition peut avoir lieu. La source de chaleur est l'oxydation partielle du carbone non combiné au moyen de l'air seul ; la gazéification ne peut théoriquement être continue que si on la règle de telle sorte que la chaleur due à la gazéification par l'air soit égale à la chaleur absorbée par la gazéification à l'eau et par la décomposition de la houille. Comme la distillation donne des produits plus oxydables que le carbone, il faut l'effectuer à l'abri de l'oxygène, et les gaz produits doivent rester en contact avec le carbone incandescent, qui les protégera contre une oxydation plus profonde ; il est donc nécessaire que la distillation précède la gazéification par combustion fractionnée.

Dans une couche de combustible en ignition, le tirage naturel tend, en vertu de la faible densité des gaz chauds, à s'établir de bas en haut ; c'est ainsi que l'on gazéifie la houille aux gazogènes, du moins dans les appareils sidérurgiques. L'accès de l'air se fait par la base ; le coke incandescent brûle et donne un courant d'oxyde de carbone chaud qui traverse les lits supérieurs ; ceux-ci, chauffés en atmosphère neutre, distillent en produisant du coke qui remplacera au bas de la couche celui que la combustion aura fait disparaître. Si, avec l'air produisant la combustion fractionnée (air primaire), on injecte de la vapeur d'eau, sa décomposition absorbera une partie de la chaleur dégagée par la combustion du carbone.

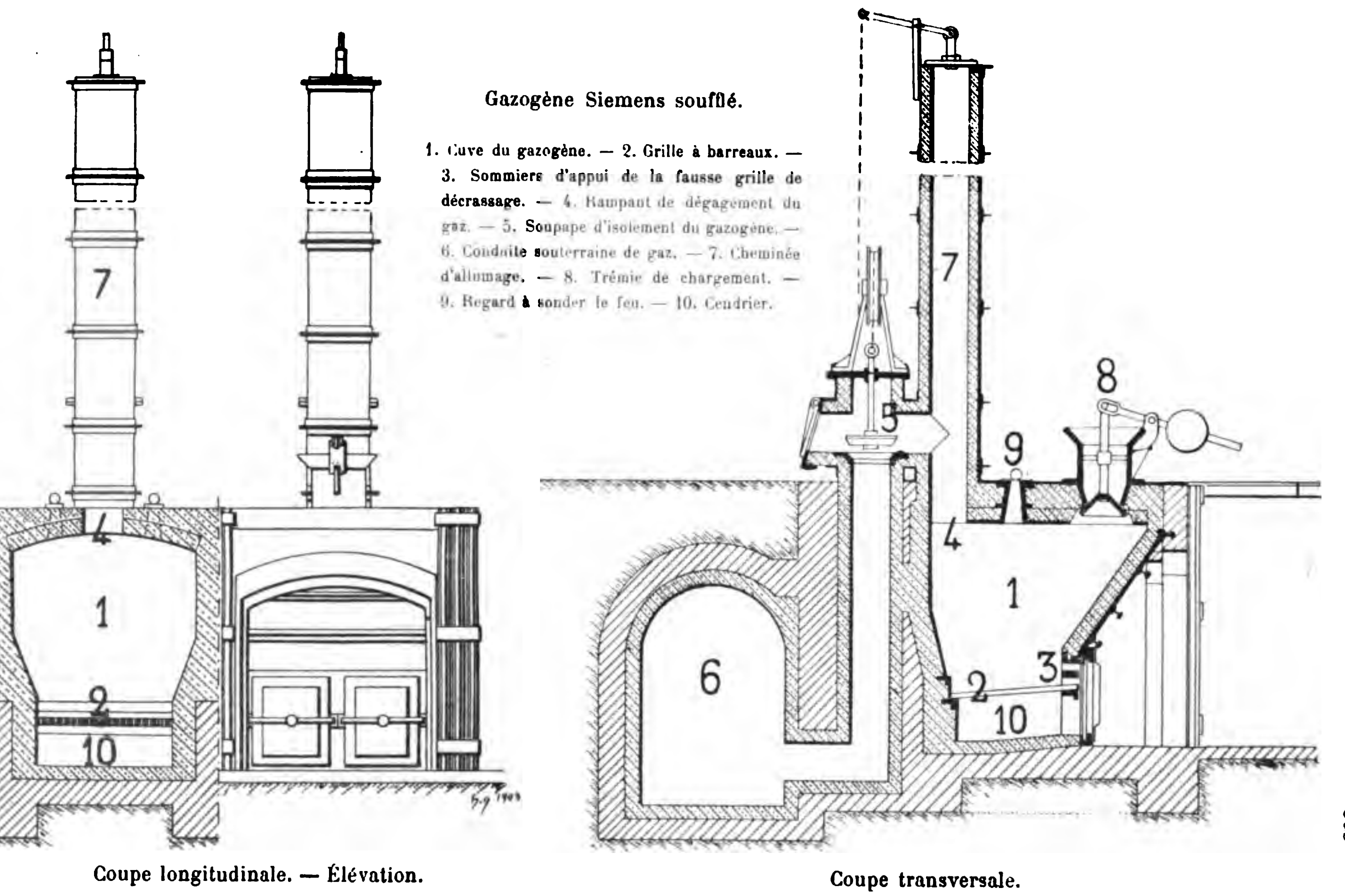
Cependant, la combinaison du carbone avec l'oxygène ne produit pas uniquement de l'oxyde de carbone ; une partie de ce dernier se transforme en anhydride carbonique, qui peut ultérieurement être réduit par le carbone. On évite la présence de l'anhydride carbonique pour deux raisons : elle constitue d'abord une dépense de carbone presque inutile, puisque son seul avantage consiste en sa chaleur de formation ; en outre, pour 1 kilogramme d'oxygène combiné sous forme de CO^2, le poids des gaz combustibles diminue de $1^{kg},75$ et celui des gaz inertes augmente de $1^{kg},37$.

On cherchera donc à favoriser la combinaison directe du carbone avec l'oxygène, en élevant la température, en augmentant la surface et la durée du contact, ainsi que l'épaisseur du combustible. Une masse poreuse, divisée en fragments qui ne s'agglomèrent pas, rendra plus intime le contact de l'oxygène et du carbone. A qualité égale de houilles, les fragments sont meilleurs que les fines, qui ne laissent entre elles aucun interstice, et créent des cheminées, particulièrement le long des parois. Les houilles non collantes sont préférables à celles qui gonflent, forment des voûtes et provoquent des accrochages dans la masse incandescente, nuisant ainsi à la régularité du dégagement gazeux.

Comme on ne peut empêcher la formation de l'anhydride carbonique au contact de l'air froid, alors que l'oxygène est en excès, on le détruit et on régénère l'oxyde de carbone par l'action du carbone incandescent. Cette réaction nécessite une température élevée et un contact prolongé, conditions semblables, d'ailleurs, à celles que demande la production directe de l'oxyde de carbone.

La résistance qu'oppose le combustible au passage du gaz est souvent trop forte pour que le tirage naturel d'une cheminée puisse la surmonter ; dans ce cas, l'air primaire est envoyé sous la grille avec une légère pression produite par un injecteur à vapeur ou un ventilateur.

Les produits de la distillation sont eux-mêmes très variables, suivant la manière dont les appareils sont menés, et ils sont d'autant plus stables que la température à laquelle ils ont été portés est plus élevée. Une distillation à basse température, ou plutôt un accroissement de température très lent, donne des gaz très riches en carbone ; l'oxygène s'y trouve sous forme de vapeur d'eau et de produits ternaires ; l'azote reste associé à l'hydrogène. Les carbures renfermant beaucoup de carbone, c'est-à-dire non saturés, sont peu stables ; la chaleur les décompose aisément ; leurs vapeurs sont lourdes, facilement condensables, et, à ce point de vue, ils gênent la conduite du chauffage. Comme les gaz qui sortent des gazogènes se refroidissent avant d'atteindre la cloche de distribution, l'eau, l'ammoniaque, le goudron, se condensent et forment du brai qui peut obstruer les carneaux ; on perd en outre ainsi une partie notable de a puissance calorifique du gaz. Les carbures non saturés que le refroidissement n'a pas condensés arrivent dans les récupérateurs, y sont portés à haute température et deviennent instables; leur dissociation produit dans les empilages réfractaires des dépôts



Gazogène Siemens soufflé.

1. Cuve du gazogène. — 2. Grille à barreaux. — 3. Sommiers d'appui de la fausse grille de décrassage. — 4. Rampant de dégagement du gaz. — 5. Soupape d'isolement du gazogène. — 6. Conduite souterraine de gaz. — 7. Cheminée d'allumage. — 8. Trémie de chargement. — 9. Regard à sonder le feu. — 10. Cendrier.

Coupe longitudinale. — Élévation.

Coupe transversale.

de carbone analogues à ceux des cornues à gaz d'éclairage. Il est vrai que les récupérateurs sont soumis alternativement au passage des gaz et des fumées; celles-ci sont souvent légèrement oxydantes, de sorte qu'une partie des dépôts graphiteux peut être éliminée par combustion; mais cette disparition est rarement complète, et la section des chambres diminue peu à peu.

Il y a donc tout avantage à effectuer la distillation à haute température. Les carbures naissants sont noyés dans un bain de gaz chauds, où les produits instables se décomposent, donnant naissance à des carbures saturés et à du carbone qui sera gazéifié par la suite. Pour les gazogènes destinés à l'alimentation des moteurs à gaz, on emploie l'une des deux dispositions suivantes : appareils à double cuve; appareils à combustion renversée.

Les premiers comprennent deux gazogènes semblables fonctionnant alternativement; les gaz produits dans une cuve traversent la seconde : les carbures y sont décomposés, et déposent leur carbone sur le coke incandescent; l'anhydride carbonique agit comme oxydant sur le combustible de la deuxième cuve, et donne de l'oxyde de carbone. La première cuve s'échauffe, tandis que la seconde se refroidit; les rôles sont renversés à intervalles déterminés.

Dans les gazogènes à combustion renversée, le mouvement de l'air primaire a lieu dans le même sens que celui du combustible; il sort du gazogène après avoir traversé les régions les plus chaudes, dans lesquelles s'est effectuée la décomposition des carbures et de l'anhydride carbonique. Ces dispositifs sont trop compliqués pour être utilisés en métallurgie.

La plupart des gazogènes employés actuellement pour fours à gaz sont soufflés; outre l'avantage qu'ils présentent de produire un gaz de meilleure composition, ils permettent d'obtenir un volume de gaz donné avec une section moindre que celle d'un appareil à tirage naturel. Leurs dimensions générales sont donc plus faibles, leur installation moins coûteuse; les pertes de chaleur par conductibilité et rayonnement sont moindres, et la masse de combustible et de gaz conserve une plus haute température. Il se peut même que celle-ci soit trop élevée; on la réduit alors par une injection de vapeur d'eau avec l'air primaire; cette vapeur ne produit que des gaz utiles, et n'apporte aucun élément inerte. Comme, en même temps, le combustible n'a plus besoin d'être si poreux, on peut employer des houilles fines, en couches épaisses, à plus grande teneur en cendres. La production du gaz est facilement réglable, car elle est sensible

ment proportionnelle à la quantité d'air insufflé ; lorsqu'on prévoit la nécessité d'un surcroît de production, on maintient les grilles bien remplies, très chaudes, puis on augmente légèrement le débit des injecteurs d'air. Quand on désire au contraire diminuer la production, on ouvre les portes des cendriers, et on laisse le tirage s'effectuer naturellement. Cette faculté de réglage est avantageuse quand le four devient vieux et que les récupérateurs sont obstrués, car un accroissement de pression de l'air primaire suffit pour vaincre les résistances supplémentaires qu'entraîne l'état du four.

Le gaz à l'air, obtenu avec du carbone pur, sans production d'anhydride carbonique, a pour composition :

	Volumes pour 100	Poids pour 100
CO	34,3	34,2
Az..................	65,7	65,8

Un mètre cube de gaz pèse 1^{kg},255 dans les conditions normales de température et de pression ; sa puissance calorifique est de 660 calories par kilogramme.

Les gaz de chauffage sont presque exclusivement fabriqués avec de la houille, sauf dans certaines régions où l'on utilise le lignite, la tourbe, comme en Bohême, en Carinthie. Ils sont donc un mélange de gaz à l'air, de gaz à l'eau et de gaz de distillation. Le poids d'eau que l'on pourra décomposer sera d'autant plus grand que les distillations et les absorptions de chaleur par les parois seront moins considérables ; il sera plus élevé avec des combustibles pauvres en matières volatiles qu'avec des houilles grasses, ce qui concorde avec les conditions nécessaires à la production d'un gaz de bonne qualité, puisque, si la houille est grasse, elle donnera naissance à des hydrocarbures et que, par suite, la proportion d'hydrogène pourra être plus faible.

Proportion maxima du gaz à l'eau dans un gaz mixte. — Soit un gazogène dont on néglige l'influence des parois, alimenté avec du carbone pur ; la température du gaz à la sortie de la couche de combustible est de 600°. La combustion d'un kilogramme de carbone exige 1^{kg},333 d'oxygène apportant 4^{kg},412 d'azote, soit 5^{kg},745 d'air. Cette combustion donnant de l'oxyde de carbone a dégagé 2.450 calories. Le poids total du gaz est de 6^{kg},745 ; sa composition est, en poids :

		Pour 100
CO..	=	34,4
Az..	=	65,6

Le gaz, introduit à 20°, sortant à 600°, emporte 940 calories, en laissant 1.510 à la masse de combustible.

La décomposition de l'eau par le carbone a lieu suivant la formule :

$$C + H^2O = CO + H^2;$$

1 kilogramme de carbone dissocie 1kg,500 d'eau, en produisant 0kg,167 d'hydrogène et 2kg,333 d'oxyde de carbone, avec une absorption de :

Dissociation de la vapeur d'eau......	—	4.800 calories
Formation de l'oxyde de carbone....	+	2.450 —
Total.....	—	2.350 calories

Abstraction faite de toute perte, la gazéification au gaz mixte du carbone pur peut être conduite de cette façon :

	C	O	Az	H^2O	CO	H
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Gaz à l'air...........	1,000	1,333	4,412		2,333	
Gaz à l'eau..........	0,642			0,963	1,498	0,107
Gaz mixte...........			4,412		3,831	0,107
Composition centésimale du gaz mixte.			52,9		45,8	1,3

En pratique, on n'arrive pas à décomposer un tel poids d'eau, à cause des pertes par les parois, de la chaleur emportée par les cendres, des matières volatiles que contiennent les combustibles industriels. On ne peut, même avec du coke, dépasser 0kg,35, et avec la houille 0kg,180; au delà de ces chiffres, le gazogène est exposé à se refroidir, et la mauvaise allure qui en résulte cause une perte considérable.

La composition du gaz varie avec la qualité du combustible; on peut indiquer comme moyenne :

	Pour 100
Az..................................	57 — 64
CO..................................	23 — 26
CO^2..................................	4 — 6
H..................................	0,2 — 0,6
Hydrocarbures......................	1 — 5

Un mètre cube de ce gaz pèse 1kg,16 à 1kg,19; sa puissance calorifique atteint 870 à 900 calories par kilogramme.

Des allures différentes, avec une même houille, provoquent des variations sensibles :

	Allure chaude	Allure froide
CO 0/0	24,0	17,8
CO^2 0/0	4,9	11,0
H	0,4	0,2
Carbures saturés	3,5	1,5
Carbures non saturés	1,0	3,5
Az	66,2	66,0

Le gaz de la composition précédente, produit en allure froide, a une puissance calorifique inférieure de 17 0/0 au gaz produit en allure chaude.

COMBUSTIBLES POUR GAZOGÈNES

En principe, les gazogènes peuvent brûler tous les combustibles solides, quelle que soit leur qualité ; mais à chaque espèce correspondent des dispositions et une conduite spéciales. On doit donc tout d'abord faire le choix du combustible qui sera employé et dont il est facile de s'approvisionner, pour établir en conséquence les appareils qui l'utiliseront. En général, on n'emploie guère les combustibles carbonisés, comme le coke, que s'il y a avantage à recueillir préalablement les produits de leur distillation.

Nous avons vu que les fragments étaient préférables aux menues, surtout dans les appareils non soufflés où une couche de combustible compacte nuirait au tirage rapide qui convient à l'allure chaude. On les emploie sur des grilles sans que le piquage du feu et le décrassage du foyer causent de trop grandes pertes, tandis qu'avec les fines cette perte atteint 15 0/0 de la houille totale consommée. Par contre, les menues se gazéifient aisément dans des gazogènes à cuve soufflés.

Les houilles grasses ne conviennent pas; elles donnent beaucoup d'hydrogène et de carbures, mais la plupart de ces derniers ne sont pas saturés, de sorte qu'ils encrassent rapidement carneaux et récupérateurs. Le coke qu'elles produisent s'agglomère et n'offre que

peu de surface à l'air primaire qui doit les gazéifier. De plus, elles sont coûteuses.

Les houilles sèches à longue flamme sont préférables. On les brûle sur des grilles non soufflées; elles distillent moins facilement que les précédentes, et donnent moins d'hydrocarbures; leur coke ne s'agglomère pas et reste poreux, ce qui facilite la combustion primaire en oxyde de carbone. Elles renferment 28 à 35 0/0 de matières volatiles; leur composition moyenne est :

	Pour 100
C..	84 — 90
H..	4 — 6
(O + Az)................................	6 — 10

Leur rendement en coke ne dépasse pas 65-75 0/0. Les houilles sèches à courte flamme, qui ne contiennent que 18 à 20 0/0 de matières volatiles ne sont guère employées dans les gazogènes; on les réserve pour la fabrication du coke dense et très dur.

Les houilles anthraciteuses exigent une forte injection de vapeur d'eau, sans quoi la température des cuves s'élèverait d'une manière exagérée. Les fragments employés sont généralement assez petits; elles ne s'agglomèrent pas; leur teneur en carbone (90 à 95 0/0) les rapproche des combustibles carbonisés.

Lorsqu'on dispose d'une houille qui ne convient pas parfaitement à l'allure que l'on veut donner aux gazogènes, on peut l'améliorer, si elle est trop grasse, par des additions de petit coke ou d'escarbilles, qui agissent, pendant la distillation, comme matières inertes, en empêchant le collage; en même temps, l'étendue de la température de la zône de combustion primaire se trouve augmentée. Avec des houilles maigres, on peut utiliser dans les gazogènes des déchets de toutes sortes : débris de bois, goudron, corps imbibés d'huiles...

Les gazogènes à bois, tourbe ou lignite ne sont pas d'un emploi courant; ils donnent des gaz riches en acide carbonique et en vapeur d'eau qu'il convient de condenser avant de les brûler.

Cendres. — On a tout avantage à employer des combustibles à faible proportion de cendres, qui constituent d'abord un poids inutile et qui ensuite absorbent une partie de la chaleur, nuisent à une bonne combustion, et entraînent dans leur chute du charbon non consumé. Néanmoins, on brûle plus facilement des houilles riches en cendres dans des gazogènes que dans des foyers à combustion directe.

Il est rare que la proportion de cendres soit inférieure à 5 0/0; de bonnes houilles en contiennent jusqu'à 10 et 12 0/0, avec 3 et 8 0/0 d'humidité. On peut encore employer avec succès, dans les gazogènes, des charbons barrés à 22 0/0 de cendres et 4 à 6 0/0 d'humidité.

La composition des cendres présente une grande importance, quant au type et à la conduite des gazogènes; leurs principaux constituants sont la silice, l'alumine, l'oxyde de fer et la chaux. Une faible quantité d'alumine avec un mélange de chaux et d'oxyde de fer en assez grande proportion caractérisent des cendres peu acides, facilement fusibles, qui s'agglomèrent en englobant du coke, et bouchent les grilles où elles forment des croûtes de mâchefers. Une plus forte proportion de silice et d'alumine diminue la fusibilité; les cendres restent pulvérulentes et n'encrassent pas les appareils.

Des houilles à cendres fusibles ne conviennent donc pas quand elles doivent être soumises à une haute température, comme dans les gazogènes soufflés. Cependant, l'emploi d'un injecteur à vapeur peut refroidir suffisamment la grille et le charbon qui la surmonte : le fondant formé par les cendres se solidifie, avant d'atteindre les barreaux, en croûtes qui s'épaississent peu à peu, et que l'on retire au moment du décrassage en faisant une fausse grille au-dessus de leur lit.

Des cendres très ferrugineuses ont une trop grande fusibilité pour que le refroidissement de la grille par le moyen précédent soit efficace. En ce cas, on fait au charbon des additions de castine, pour produire un laitier complètement liquide à la température des gazogènes, qui sont alors de véritables cubilots, sans grille, à sole fixe, et soufflés par des tuyères. A la base de la cuve se trouve un petit creuset, muni de trous de décrassage qu'on ouvre à intervalles réguliers.

Les additions calcaires ont encore un avantage marqué lorsque la houille contient du soufre sous forme de pyrites ferrugineuses : elles servent de désulfurant et diminuent la teneur du gaz en acide sulfureux, qui risque toujours d'être absorbé par le bain. Le soufre se trouve également dans la houille sous forme de produits organiques; c'est alors qu'il est le plus dangereux, car il se gazéifie entièrement.

Les cendres noires ou rouge foncé sont généralement riches en fer et souvent aussi en soufre; une teinte rose ou blanche indique une forte teneur en silice.

Voici quelques analyses de cendres :

	SiO^2	Al^2O^3	$(MgO+CaO)$	FeO	K^2O+Na^2O	Ph	S
	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100
Houille de la Loire.	52	25	9	8	3	0,15	1,5
— du Pas-de-Calais	49	34	3	8		0,14	0,6
Houille anglaise...	45	27	4	17		0,4	3,2
— de Lens, 1/2 grasse	45	29,5	13,5	9,8		0,3	1,9

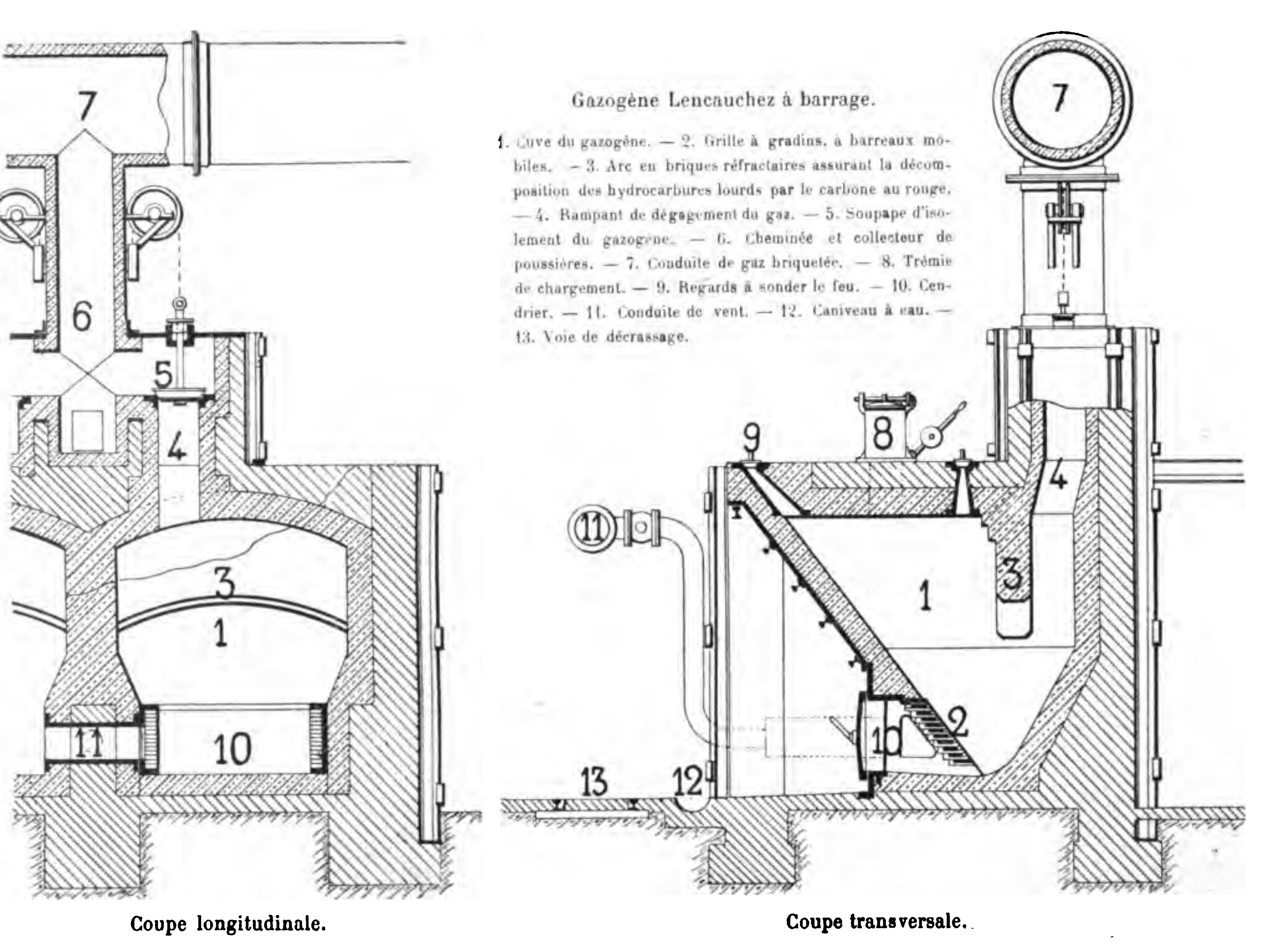
GAZOGÈNES

Gazogènes Siemens à tirage naturel. — Les premiers gazogènes de Siemens étaient à tirage naturel ; ils brûlaient de la houille. L'introduction de vapeur d'eau n'avait lieu qu'accidentellement et son principal but était de refroidir la grille. Groupés par deux ou quatre autour d'une cheminée en briques, ils comprennent chacun une cuve, dont la section supérieure est à peu près carrée, de 2 mètres à $2^m,20$ de côté, et qui se rétrécit à la base, vers la grille, sur ses quatre faces. On ne peut guère augmenter ses dimensions sans rendre la conduite assez difficile : des cheminées se forment alors dans la masse du combustible, absorbent la majeure partie du tirage et ont pour effet que l'anhydride carbonique prend naissance en grande quantité.

La paroi antérieure de la cuve est fortement inclinée. La houille, chargée au sommet de la rampe, descend ainsi spontanément vers le fond de la grille, quand des vides s'y produisent; cette inclinaison sur l'horizontale varie de 50° pour les houilles sèches jusqu'à 70° pour les combustibles gras, gonflants et menus.

La rampe et les trois autres parois aboutissent à une grille à barreaux mobiles, de $1^m,50$ de largeur sur $0^m,80$ de profondeur environ ; la grille est légèrement inclinée vers l'arrière ; ses deux extrémités reposent sur un sommier en fonte, et ses barreaux sont en fer carré de 32 à 40 millimètres.

Le sommier antérieur est à une vingtaine de centimètres au-dessous de la base de la rampe; l'espace intermédiaire est occupé par un



Gazogène Lencauchez à barrage.

1. Cuve du gazogène. — 2. Grille à gradins, à barreaux mobiles. — 3. Arc en briques réfractaires assurant la décomposition des hydrocarbures lourds par le carbone au rouge. — 4. Rampant de dégagement du gaz. — 5. Soupape d'isolement du gazogène. — 6. Cheminée et collecteur de poussières. — 7. Conduite de gaz briquetée. — 8. Trémie de chargement. — 9. Regards à sonder le feu. — 10. Cendrier. — 11. Conduite de vent. — 12. Caniveau à eau. — 13. Voie de décrassage.

Coupe longitudinale.

Coupe transversale.

autre sommier en fer, mobile, soutenu dans des encoches pratiquées sur les cadres d'armature. On appuie sur ce sommier les barreaux plats de la fausse grille qu'on installe pour opérer le décrassage.

Le chargement de la houille se fait à la partie supérieure de la caisse, au sommet de la rampe, par des trémies à double fermeture formant écluses, ne laissant échapper le gaz à aucun instant. Celui-ci trouve issue par un rampant placé dans un angle, aboutissant dans la cheminée verticale collectrice ; un registre métallique, luté à la terre glaise, permet d'isoler chaque gazogène.

Plusieurs regards sont ménagés dans la voûte de la cuve; ils permettent d'observer le feu et de le piquer avec des sondes. Ce sont des tubes en fonte évasés, terminés au niveau du sol par une collerette ; leur ouverture est de 5 à 6 centimètres; ils sont fermés par un boulet en fonte ou mieux par un bouchon conique. On dispose un de ces regards de chaque côté des trémies de chargement, puis deux au-dessus du sommier postérieur de la grille, et un dernier devant le rampant qui mène le gaz à la cheminée.

La cuve est garnie depuis le cendrier d'une chemise en briques réfractaires argileuses; la rampe inclinée est armée de plaques de fonte reposant sur un cadre qui sert de sommier. Le cendrier est incliné vers l'arrière et forme une cuvette cimentée étanche où l'on peut conserver de l'eau.

Les premiers gazogènes n'avaient pas de grille à barreaux : la rampe était continuée par des barreaux en gradins transversaux présentant la même inclinaison, puis elle s'ouvrait librement à 50 centimètres au-dessus du sol. Le vide était bouché par des crasses et des mâchefers; il suffisait de retirer au crochet les loups de scorie pour faire le décrassage et provoquer une descente dans la cuve. Cette disposition, peu favorable à une allure chaude, réduisait la production, et tendait à engendrer de l'acide carbonique.

Gazogènes soufflés. — Le soufflage permet non seulement d'augmenter la production de gaz, mais d'en améliorer la qualité, tout en facilitant le réglage. Un gazogène à tirage naturel est facilement transformé en gazogène soufflé; il suffit de fermer le cendrier au moyen de volets mobiles, prenant appui sur un cadre ; à l'intérieur aboutit un tuyau métallique ou un canal maçonné amenant le vent.

Pour les houilles maigres à longue flamme renfermant beaucoup de matières volatiles, il faut employer une rampe de distillation très

longue ; pour les houilles menues, on doit augmenter le contact entre l'air et le combustible incandescent, d'autant plus que le soufflage, activant la combustion, exige que le contact s'établisse sur une plus grande surface : dans ce cas, on conserve à la rampe une pente très raide, et on la prolonge par des barreaux en gradins, creusés en cuvettes, alimentés par un filet d'eau qui se vaporise.

Gazogènes Siemens à barrage. — Les appareils précédents, principalement ceux qui fonctionnent à tirage naturel, donnent un gaz très riche en goudron, parce qu'il est produit à trop basse température. Une heureuse disposition, due à Lencauchez, évite cet inconvénient. La prise de gaz débouche à l'arrière de la cuve, au milieu du combustible, dans une zône où la température est élevée ; les gaz de distillation dégagés dans la région supérieure de la cuve ne peuvent s'échapper qu'après avoir traversé une forte épaisseur de houille incandescente, et s'être dissociés à ce contact : le carbone naissant se dépose sur le combustible, pour être plus tard gazéifié par l'air. Il en résulte un enrichissement du gaz final en produits combustibles, et une teneur en goudron presque nulle à la sortie du gazogène.

Dans les gazogènes Siemens, la grille n'est pas également active sur toute sa surface; la région postérieure produit moins. Une cuve cylindrique montée sur une marâtre et laissant à la base un large espace libre est de beaucoup préférable. La grille, quand elle est à barreaux, se divise en deux parties qui se font vis-à-vis, appuyées sur un sommier médian; le décrassage se fait par deux portes situées de part et d'autre. Quand on emploie des grilles à gradins, elles sont ouvertes sur deux ou plusieurs faces, formant alors un tronc de pyramide renversé; elles ne se prolongent pas jusqu'au fond du cendrier, et laissent, comme dans l'appareil primitif, un talus de scories qu'on tire au crochet.

Gazogènes à injection centrale. — Afin de favoriser davantage le contact de l'air avec le combustible, on munit la grille à gradins d'une cheminée centrale, recouverte d'un chapeau qui la protège contre l'entrée des poussières. On obtient ainsi, au sein du combustible, une température élevée qui permet une injection d'eau en forte proportion, et une grande production de gaz. Ces appareils, du type Taylor, sont enveloppés d'un anneau en tôle qui obture le cendrier; un joint hydraulique inférieur assure l'étanchéité de la fermeture. Pour espacer davantage les décrassages, on a muni certains de ces

gazogènes d'une sole tournante au-dessous de la grille circulaire et de la tuyère centrale. Le talus de scories repose sur la sole, dont la rotation produit des mouvements dans le combustible et rejette les cendres à l'extérieur. On effectue cette rotation à la main par l'intermédiaire d'engrenages, à intervalles réguliers ; la cendre tombe dans un cendrier, et est enlevée rapidement entre deux opérations (gazogènes Fichet et Heurtey).

Gazogènes à tuyères. — Quand les cendres, très ferrugineuses, sont particulièrement fusibles, elles peuvent arriver liquides au contact des grilles refroidies par le courant d'air, s'y solidifier et les obstruer rapidement ; nous avons vu qu'il était alors préférable d'assurer la fusion complète de ces cendres, et de les éliminer à l'état liquide. Le gazogène devient semblable à un cubilot à fonte, avec un creuset de faible hauteur. Les tuyères sont placées au sommet du creuset, avant les étalages qui le raccordent avec la cuve ; une trémie centrale sert au chargement de la houille.

Pour provoquer la fusion des cendres, on ajoute des calcaires de manière à former un silicate multiple renfermant 50 0/0 d'acides ($SiO^2 + Al^2O^3$) ; la scorie liquide est extraite du creuset à intervalles réguliers, par des chios ménagés dans la maçonnerie du creuset à différentes hauteurs, depuis la sole jusqu'au creuset. Une porte pratiquée dans le creuset et fermée par un volet sert à la vidange.

Injection d'air et d'eau dans les gazogènes. — L'injection d'air peut être réalisée par un ventilateur centrifuge ou un injecteur à vapeur. La pression dans le cendrier est toujours faible ; elle varie, suivant l'épaisseur et l'état physique du combustible, de 6 à 20 centimètres d'eau ; il est inutile de dépasser ce chiffre, car on augmente alors en même temps les pertes de gaz par les fissures et les boîtes de chargement ; une trop forte pression favoriserait la formation de l'anhydride carbonique et l'entraînement des poussières dans les conduites.

Le canal d'amenée du ventilateur est muni d'un registre qui permet d'isoler chaque grille de ses voisines ; comme le volume et la pression du vent soufflé varient pendant une opération, il est bon de commander le ventilateur par un électromoteur à vitesse variable. L'air ainsi injecté n'est pas humide ; aussi le gaz produit est-il très chaud et pauvre en hydrogène. Pour y remédier, une petite canalisation alimente régulièrement, en eau, la cuvette des cendriers ; l'eau baignant le pied des escarbilles y monte par capillarité et se vaporise

dans le courant d'air; elle refroidit en même temps les barreaux de grilles, qui se conservent mieux. L'excès d'eau s'écoule par un déversoir à siphon.

On emploie plus fréquemment un injecteur à vapeur, bien que la dépense soit légèrement plus élevée. Chaque gazogène possède son souffleur; une simple manœuvre du robinet de réglage fait varier le volume et la pression de l'air. La quantité de vapeur d'eau ainsi introduite reste souvent inférieure à celle que le gazogène peut normalement recevoir. En effet, l'air injecté est porté à la température de 25°, et la gazéification de 1 kilogramme de houille en exige environ 5 kilogrammes; l'air saturé contient 17 grammes d'eau par kilogramme, alors qu'on pourrait normalement en injecter plus du double. On devra donc encore envoyer de l'eau dans le cendrier.

Dans les gazogènes à anthracite, on arrive à produire 1 mètre cube de gaz à l'eau pour 3 à 4 mètres cubes de gaz à l'air, sans que la température en souffre. Si d'ailleurs on la voit s'abaisser, on diminue ou on supprime l'injection d'eau liquide; la quantité de vapeur qui sert à l'introduction de l'air est toujours insuffisante pour produire un refroidissement dangereux du combustible.

CONDUITE DES GAZOGÈNES

Alimentation et piquage. — La conduite des gazogènes consiste à maintenir le combustible en ignition dans l'état d'équilibre le plus favorable, à produire le gaz d'une manière régulière, à charger de la houille fraîche et à extraire la scorie. L'épaisseur de houille qui convient aux gazogènes non soufflés est 65 à 80 centimètres au point le plus bas du feu; elle est nécessaire pour assurer la réduction de l'acide carbonique qui s'est formé au contact de la grille; plus le combustible est menu, plus elle doit être faible, car la résistance de la masse augmente et absorbe une notable partie de la dépression qui assure le tirage. La température atteint 800 à 900° dans l'intérieur même du foyer; la partie supérieure qu'on observe par les regards doit être rouge sombre, à 600° environ.

La hauteur de combustible est bien supérieure dans les gazogènes soufflés, ainsi que la production de gaz par mètre carré de grille. Elle varie de 1 mètre avec les menues, jusqu'à 1m,50 ; elle atteint

3 mètres dans les appareils à tuyères, sans grille. La pression du vent augmente avec la hauteur de la couche, ainsi que la température, qui s'élève à 1.100° au centre, mais diminue auprès de la grille par suite de la dissociation de la vapeur d'eau entraînée par le vent ; les régions supérieures ont de 600 à 700°.

Quand on constate que le niveau du feu est trop bas, on procède à une nouvelle charge de combustible. Le feu est d'abord piqué avec une sonde pour détruire les accrochages qui ont pu se former ; on vide ensuite les boîtes de chargement, et la houille se répand au sommet de la rampe ; les trémies des gazogènes à cuve circulaire sont munies d'un cône distributeur, qui répartit uniformément le combustible à la périphérie. Le chargement a lieu à intervalles réguliers, sauf lorsqu'on désire changer l'allure du gazogène ; on fait souvent sur les sondes un repère qui facilite le réglage de l'épaisseur du lit de houille.

Le piquage du feu a pour but de maintenir constante la production de gaz entre les diverses charges, et d'assurer la descente régulière du combustible. Si peu collantes que soient les houilles, elles forment toujours au moment de la distillation des arc-boutements et des accrochages locaux. Dès qu'une cavité prend ainsi naissance, elle tend à s'accroître et à atteindre la grille ; la combustion s'y opère plus vite, et donne de l'anhydride carbonique.

Sitôt qu'on s'en aperçoit, on pique le feu avec une tige en fer rond de 20 à 22 millimètres, terminée par une poignée. On l'enfonce par les regards, à travers un obturateur très simple composé d'une rondelle en tôle ou en fonte, percée d'un orifice d'un diamètre légèrement supérieur à celui de la sonde. On défonce les accrochages latéraux en les frappant verticalement de haut en bas, sans chercher à remuer le feu, ce qui ferait tomber trop d'escarbilles par la grille ; il faut simplement étaler la couche de houille. Avec les appareils possédant une rampe de distillation, on fait de même couler la houille qui s'est attachée au pied de la rampe. Quand on vient de charger du combustible frais, il est inutile de piquer le feu tout de suite ; il vaut mieux attendre de quinze à vingt minutes, jusqu'à ce qu'il soit réchauffé et commence à distiller, sinon on risque d'étouffer la grille en la refroidissant trop vivement.

La teinte des gaz qui s'échappent lorsqu'on soulève les bouchons des regards donne des indications sur l'allure de l'appareil. Des fumées bleuâtres dénotent une trop forte proportion d'anhydride carbonique ; après le chargement de houille fraîche, un gaz noirâtre,

tenant du carbone en suspension, décèle une allure trop froide : il se décolore peu à peu et passe généralement au bleu, devient peu abondant ; une teinte jaune, transparente, est le signe d'une bonne distillation. On allume souvent sur la conduite un jet de gaz dont la flamme indique, par sa longueur, la pression intérieure, et par sa couleur, la qualité du gaz. Très éclairante, floconneuse, fumeuse vers sa pointe, elle accuse une haute teneur en goudron ; nette, pointue, bleue, peu éclairante à sa base, jaune vers sa pointe, elle provient d'un gaz riche en oxyde de carbone et en carbures saturés.

Quand l'allure du gazogène semble trop froide, on commence par nettoyer la grille, et l'injection d'eau est supprimée. On charge dans la trémie des fragments de houille, de $0^{kg},50$ à 1 kilogramme, qui, laissant un tirage plus violent, favorisent l'allumage, et, dès qu'ils sont en ignition, on fait une nouvelle charge de manière à atteindre l'épaisseur de combustible normale. Quelquefois, c'est l'obstruction de la grille qui provoque le ralentissement de l'allure : cela arrive fréquemment avec les appareils non soufflés ; on doit d'abord décrasser complètement, même deux fois si c'est nécessaire, piquer le feu pour écouler les cendres, et opérer ensuite le réchauffage.

Lorsque la pression statique à l'intérieur de la cuve, au niveau de la grille, est supérieure à la pression dans le cendrier, le gaz n'a plus tendance à s'élever dans la cuve ; il s'échappe au contraire par les barreaux, et brûle dans le cendrier. Ce fait se produit accidentellement quand on vient de fermer ou de réduire fortement l'ouverture de la vanne à gaz, car la consommation est alors inférieure au débit. Avec des gazogènes soufflés, il faut réduire immédiatement la pression de soufflage, et la suspendre complètement au besoin, pour éviter un trop fort abaissement de température. Dans les vieux fours, le tirage est moins intense, carneaux et récupérateurs étant partiellement obstrués, de sorte que les gazogènes refoulent presque continuellement. Le seul remède consister à nettoyer les carneaux ou à refaire le four.

Des houilles collantes favorisent le refoulement, car, pendant leur carbonisation, elles se soudent et forment une croûte peu perméable aux gaz ; il est bon d'employer alors des cuves légèrement rétrécies vers le sommet, ayant un profil semblable à celui d'un haut-fourneau, pour que la descente s'opère sans accrochages ; on mélange en outre ces houilles avec des escarbilles ou du petit coke.

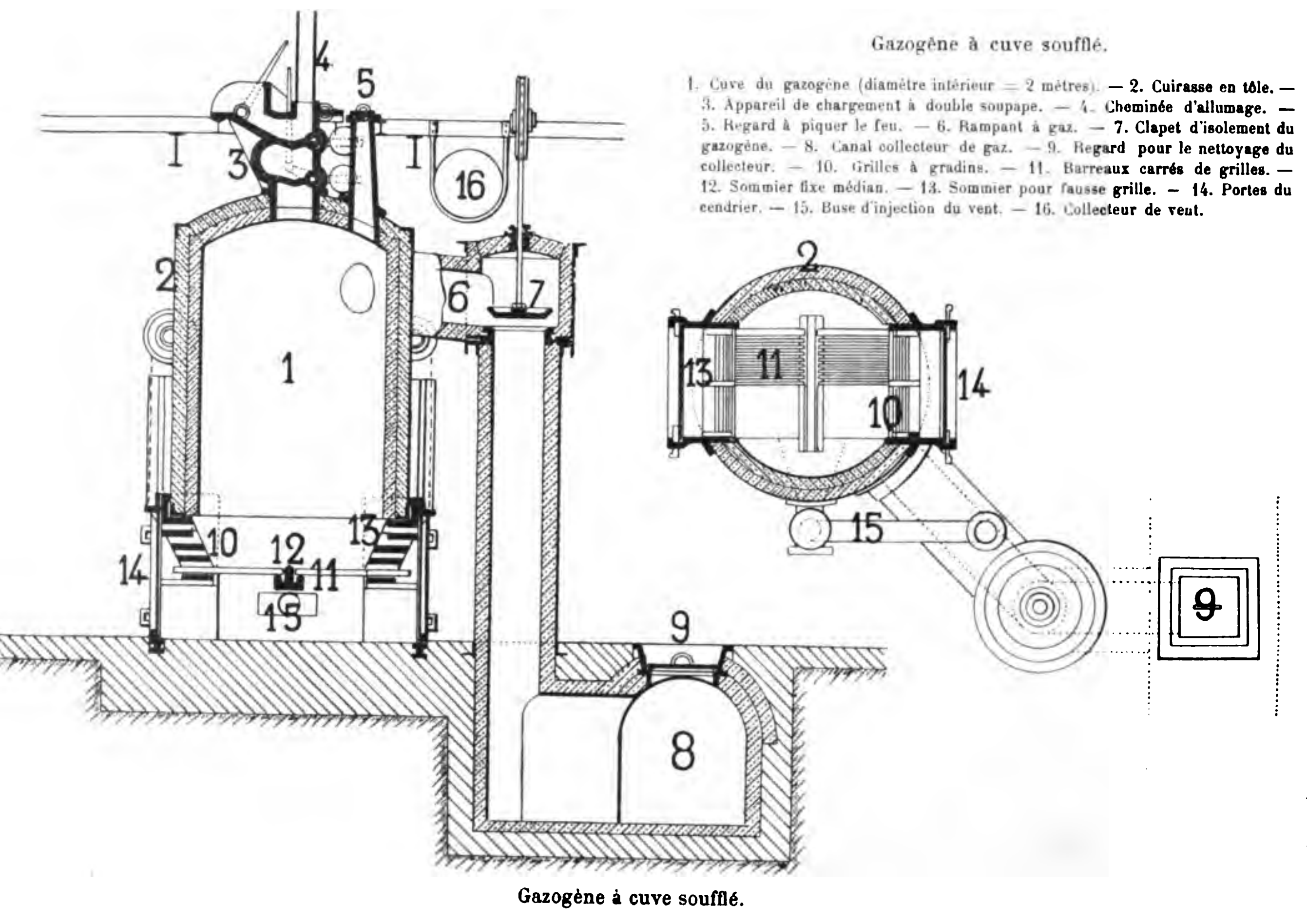
Si, au contraire, la production de gaz diminue et reste inférieure à la consommation, la pression au sommet de la cuve des gazogènes

non soufflés est parfois moindre que la pression atmosphérique. L'air qui s'introduit ainsi entre en combinaison, brûle les gaz combustibles, particulièrement les carbures, dont la dissociation cause alors, dans les conduites, un dépôt de noir de fumée; il en résulte une sensible diminution du pouvoir calorifique du gaz. Cet inconvénient grave peut devenir dangereux : des rentrées d'air intenses dans la cuve et les tuyaux provoquent des explosions partielles; aussi est-il prudent de ne pas rester au-dessus des regards pour piquer le feu.

Décrassage. — Le décrassage des grilles a pour but d'extraire des gazogènes les cendres du combustible. Selon l'allure du gazogène et la composition chimique de ces cendres, elles sont pulvérulentes ou agglomérées en masses spongieuses : les premières s'écoulent spontanément, mais les secondes encrassent les barreaux et forment un obstacle au passage du gaz.

Dans les gazogènes à gradins, où les cendres forment un talus à la base du combustible, l'extraction est facile : avec des crochets et des pelles, on retire la base du talus à intervalles réguliers. De temps à autre, toutes les vingt-quatre heures par exemple, on fait un nettoyage plus complet, en ne laissant rien contre les parois, qui se garniraient peu à peu de scories agglomérées. Les gradins sont également recouverts de mâchefers solidifiés par le courant d'air froid : on les casse avec des pinces, et on les extrait au crochet, s'ils peuvent passer entre les barreaux; dans le cas contraire, on les repousse à l'intérieur avant de faire le décrassage; ils tombent ainsi dans le fond de la cuve, d'où on les enlève. Les cendres n'entraînent que peu d'escarbilles encore combustibles, car elles achèvent de brûler au contact du courant d'air primaire.

Le décrassage des grilles à barreaux s'opère au moyen d'une fausse grille, à des intervalles qui varient avec la teneur en cendres du combustible. Les mâchefers, ayant gagné la base de la cuve, reposent sur les barreaux qu'ils empâtent; pour les retirer sans jeter à bas le combustible, il faut soutenir celui-ci par une grille provisoire. Sur le sommier mobile, disposé à 20 ou 25 centimètres au-dessus du sommier de grille, on appuie la queue de barreaux plats et minces, très larges, pointus à leur extrémité; ils portent généralement le nom de sabres, en raison de leur forme; on les enfonce à travers le combustible jusqu'à ce que leur pointe s'appuie sur un sommier posé dans le mur d'arrière. Lorsqu'on a ainsi créé une grille jointive, on retire



Gazogène à cuve soufflé.

1. Cuve du gazogène (diamètre intérieur = 2 mètres). — 2. Cuirasse en tôle. — 3. Appareil de chargement à double soupape. — 4. Cheminée d'allumage. — 5. Regard à piquer le feu. — 6. Rampant à gaz. — 7. Clapet d'isolement du gazogène. — 8. Canal collecteur de gaz. — 9. Regard pour le nettoyage du collecteur. — 10. Grilles à gradins. — 11. Barreaux carrés de grilles. — 12. Sommier fixe médian. — 13. Sommier pour fausse grille. — 14. Portes du cendrier. — 15. Buse d'injection du vent. — 16. Collecteur de vent.

Gazogène à cuve soufflé.

les barreaux inférieurs avec des pinces; ils tombent à terre, ainsi que les loups de mâchefers, qui n'ont plus de point d'appui. Des escarbilles incomplètement brûlées sont entraînées et perdues en partie, surtout si l'épaisseur de la couche de crasse était moindre que la distance qui sépare les deux grilles. Le rayonnement de la scorie, la poussière chaude qui s'en dégage, rendent ce travail pénible : on arrose abondamment les escarbilles, dès qu'elles sont dans le cendrier, pour les éteindre et abattre la poussière.

Les barreaux sont ensuite repris, placés à leur position primitive et convenablement espacés; puis on retire les sabres, et le combustible descend de lui-même, en laissant perdre une nouvelle quantité de menues qui s'échappent à travers les barreaux. Dès qu'une grille est faite, on pique le feu pour le remettre en état, et on charge pour ramener le combustible à son épaisseur normale; la houille fraîche s'allume très vite, par suite de l'augmentation du tirage.

On procède à un décrassage complet toutes les huit ou toutes les douze heures, selon l'allure du gazogène et la nature de la houille; mais on nettoie fréquemment le devant de la grille avec des crochets. Les cendriers sont vidés après ce nettoyage; on ne les laisse jamais entièrement pleins, pour que l'air puisse se répartir uniformément sur toute la surface.

Les appareils munis de grilles à barreaux, particulièrement ceux dont le tirage est naturel, perdent une notable quantité de combustible, sous forme d'escarbilles accompagnant les crasses : on les recueille dans la mesure du possible, pour les employer dans de petits foyers. L'injection de vent forcé favorise d'ailleurs une combustion plus complète : la vitesse du courant d'air étant plus intense, il secoue davantage les fragments de coke, les dépouille des cendres pulvérulentes qui les englobent, et achève de les brûler. Les cendres des gazogènes soufflés peuvent être envoyées directement au crassier.

Le décrassage des gazogènes à cuve fermée qui fondent les cendres s'effectue en débouchant les chios; quand l'un d'eux se trouve garni à l'intérieur, on débouche le chio supérieur; le plus voisin des tuyères, en raison de la haute température à laquelle il est soumis, reste toujours libre.

Comme un four est alimenté par plusieurs gazogènes, il aurait à souffrir si le décrassage était effectué sur tous à intervalles rapprochés; on pratique donc cette opération à des moments espacés, afin que la production du gaz demeure constante. La production d'un

appareil à tirage naturel est peu influencée; au contraire, celle d'un appareil soufflé est annulée, puisqu'on doit ouvrir les portes du cendrier. Aussi, tout en faisant le décrassage autant que possible à heures régulières, on l'avance pour celle des grilles qui, normalement, serait nettoyée au moment du chauffage final du bain en vue de la coulée; on possède ainsi un appareil de plus en pleine activité.

Au nettoyage des grilles s'ajoute celui des rampants d'évacuation du gaz et des chambres à poussières. Le canal de sortie du gaz s'obstrue souvent de dépôts charbonneux, dus à la décomposition par la chaleur des carbures non saturés; les particules entraînées dans la cuve par le courant gazeux se déposent dans les coudes du rampant. On les fait retomber dans la cuve, ou mieux dans les chambres à poussières, en agitant à l'intérieur du rampant un faisceau de chaînettes munies de hérissons, qui ramonent les parois.

Les gaz provenant de gazogènes soufflés, animés d'une grande vitesse de circulation, entraînent des poussières charbonneuses ou minérales, qu'il convient de ne pas laisser pénétrer dans les récupérateurs. On dispose pour cela des chambres à poussières, présentant une augmentation de section et deux coudes brusques à angle droit, où la perte de charge se traduit par le dépôt d'une notable proportion des poussières. Ces chambres doivent être assez profondes (trois fois leur diamètre au moins) pour être suffisamment efficaces; une porte ménagée à leur pied permet de les vider une fois par poste.

Production. — La production des gazogènes est évaluée en fonction du combustible brûlé par mètre carré de section minima à la grille. Les houille sèches se gazéifient plus rapidement que celles dont la distillation est lente. Un appareil non soufflé brûle par heure et par mètre carré de 60 à 80 kilogrammes de houille sèche à 50 0/0 de menues, ou 70 à 90 kilogrammes de tout-venant. On ne peut donner à la grille plus de $0^m,85$ de profondeur ni plus de $1^m,50$ de largeur, sans quoi la répartition de l'air ne serait plus uniforme et certaines régions travailleraient à production trop réduite; il est préférable d'augmenter le nombre des gazogènes, plutôt que leurs dimensions.

Les grilles à gradins brûlent de 80 à 100 kilogrammes par mètre carré de surface comprise entre le sommier inférieur de la rampe et le fond du cendrier.

Le vent forcé augmente beaucoup la production, et la porte, pour un gazogène Siemens, à 120 ou 140 kilogrammes par mètre carré de

surface de grille à barreaux. Les gazogènes à cuve cylindrique donnent également 120 à 160 kilogrammes par mètre carré de section minima de la cuve, suivant la pression de vent employée et la hauteur de la couche de combustible. On peut d'ailleurs faire varier la production entre les nombres précédents et ceux qui ont trait aux gazogènes non soufflés, en modifiant la pression d'injection de l'air; mais il est peu économique de dépasser ces chiffres, car la qualité du gaz s'en ressent : le contact trop rapide entre le charbon et l'air produit de l'anhydride carbonique dont la dissociation n'a pas le temps de s'effectuer.

Mise en feu. — Mise hors feu. — Entretien. — La mise en feu d'un gazogène demande peu de temps. On dispose sur la grille une couche de bois de 35 à 50 centimètres d'épaisseur, puis de la houille grasse facilement inflammable. La trémie de chargement reste ouverte, ainsi que les regards, mais on ferme le clapet d'isolement du gazogène; quand les appareils sont munis d'une cheminée d'allumage, on met celle-ci en communication avec la cuve. Lorsque la houille est en combustion, on continue le chargement jusqu'à remplir le gazogène au niveau normal. La combustion du gaz s'effectue librement à l'air, partie dans la cuve, partie au sommet des trémies laissées ouvertes; à mesure que le gaz s'enrichit, la zône d'inflammation s'élève, sort du gazogène; celui-ci peut être mis en service au bout de huit à dix heures. Les ouvertures sont closes l'une après l'autre, puis on laisse la grille refouler pendant quelques minutes; on ouvre alors le clapet d'isolement et le gaz est amené à la cloche de distribution, orientée de manière à l'envoyer directement à la cheminée.

Pour la mise hors feu, on fait l'opération inverse : le clapet d'isolement étant fermé, on met la cuve en communication avec la cheminée d'allumage, ou bien l'on ouvre les regards; le gaz vient s'y dégager : on l'enflamme, afin que l'atmosphère ambiante ne devienne pas toxique. On retire quelques barreaux des grilles, tout en prenant soin que la température intérieure ne s'élève pas trop vite, et, à mesure que le combustible tombe dans le cendrier, on l'éteint en l'arrosant. Toute la grille est ainsi enlevée peu à peu.

Quand l'arrêt du four doit être moindre qu'une dizaine de jours, et que les gazogènes n'ont pas besoin de réparation, on peut entretenir le feu dans ces derniers, pendant le temps d'arrêt : ils sont complètement isolés, toutes ouvertures fermées. La combustion s'effectue lentement, entretenue par de rares chargements, faits de douze en

douze heures. On laisse les grilles intactes sans les décrasser au moyen de fausses grilles ; la combustion lente ne produit d'ailleurs que des cendres pulvérulentes, qui tombent d'elles-mêmes quand on frappe légèrement le dessous des barreaux. Le dégagement de gaz est presque nul, même lorsqu'on ouvre les regards, l'intérieur de la cuve se trouvant sensiblement à la pression atmosphérique. Si pourtant la grille paraît se refroidir, on décrasse et on la fait brûler pendant quelques heures pour lui rendre son activité.

Pour la remise en marche, on décrasse, et l'on charge comme pour un allumage; en cinq ou six heures, on atteint l'allure normale.

APPAREILS ACCESSOIRES DES GAZOGÈNES

Collecteur de gaz. — Chacun des gazogènes est mis en communication avec un collecteur général par une cheminée briquetée, munie, auprès du gazogène, d'un clapet qui permet de l'isoler lors des réparations ou de la mise hors feu. Ce clapet est généralement placé sur un double coude, après les chambres à poussières, mais non dans le prolongement de la cheminée. Celle-ci est fermée par un clapet de sûreté à joint de sable, maintenu par des chaînettes; en cas d'explosion dans la conduite, le clapet se soulève, livrant passage aux gaz; les chaînes le retiennent, et il retombe dans sa gouttière. Ces clapets de sûreté sont très légers, pour que l'explosion ne leur communique pas une force vive capable de causer la rupture des chaînes.

Le collecteur qui réunit la batterie de gazogènes et le four est une conduite aérienne ou souterraine. Dans le premier cas, elle est en tôle que l'on garnit de brique si les gazogènse, sont soufflés, car la température du gaz suffirait pour rougir la tôle. On préfère actuellement, pour les appareils soufflés, une conduite souterraine en maçonnerie, moins encombrante et conservant mieux la chaleur latente du gaz. Elle sert en même temps de chambre de dépôt pour les poussières et les goudrons; elle est munie de clapets de sûreté qui sont utilisés pour le nettoyage. Avant d'arriver à la cloche, elle présente un élargissement brusque où se condensent les dernières poussières et les goudrons les plus volatils; cette fosse à goudron est fermée par des plaques en fonte qu'on enlève pour la vider. La hauteur de la galerie est au moins double de celle qui serait nécessaire pour le passage

des gaz, afin qu'elle ne soit pas trop rapidement obstruée par les poussières.

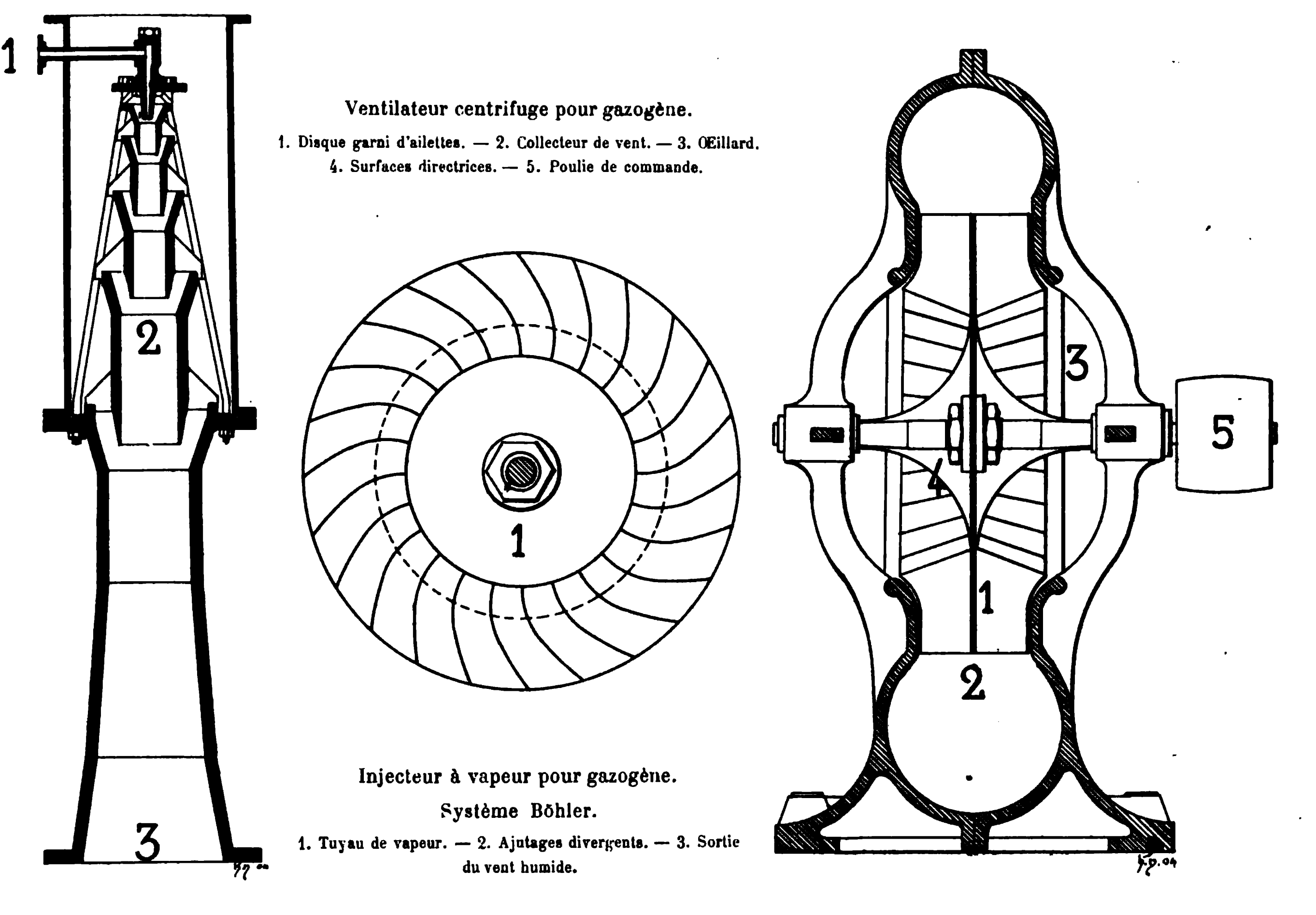
Les gazogènes soufflés, marchant en allure plus rapide, généralement avec des combustibles maigres, donnent plus de poussières que les gazogènes à tirage naturel, mais, par contre, moins de goudrons.

Pour que le tirage naturel puisse s'établir, la position des gazogènes doit être inférieure au niveau du four, et, en outre, le gaz doit arriver froid à la cloche de distribution : ce refroidissement, que l'on évite avec les appareils soufflés, diminue sensiblement le pouvoir calorifique.

Siphon de Siemens. — Siemens a complété la disposition de son gazogène par le siphon destiné à produire le tirage naturel. Le système formé par les gazogènes, la tuyauterie, le four et la cheminée est parcouru par un courant gazeux dû à la dépression statique produite par la colonne d'air chaud qui emplit la cheminée et s'en écoule, renouvelée à chaque instant. Pour qu'il y ait au four appel de gaz et d'air extérieur, il doit y régner une dépression statique suffisante pour vaincre les diverses résistances (gazogènes, conduites, récupérateurs) et pour produire la vitesse d'écoulement. Or, l'air et le gaz ne se trouvent pas tous deux dans les mêmes conditions, puisque l'air secondaire arrive directement à la vanne de distribution, alors que l'air primaire qui donne naissance au gaz a traversé grilles et conduites. Il faut donc, pour que l'appel dans le four n'y introduise point à peu près uniquement de l'air, que le gaz parvienne à la cloche de distribution à une pression statique au moins égale à la pression atmosphérique, non compris la pression dynamique qui résulte de sa vitesse. Cette pression statique lui est donnée, sans le secours d'aucun appareil mécanique, par un simple refroidissement.

Le gazogène est surmonté d'une cheminée briquetée, dont la hauteur de la grille au sommet atteint de 6 à 8 mètres ; d'autre part, la cloche de distribution est placée à un niveau plus élevé que la grille, de sorte que la conduite en tôle qui surmonte la prise de gaz a une longueur inférieure de 25 à 30 0/0 à celle de la cheminée en briques. Ces deux cheminées sont reliées par une conduite en tôle. Dans la cheminée en briques, les gaz sont à haute température ; ils se refroidissent ensuite rapidement dans la conduite horizontale et la cheminée en tôle, qui exposent à l'air une surface étendue ; ils sont donc sensiblement froids en arrivant à la cloche.

La colonne de gaz chauds qui remplit la cheminée de briques a un



Ventilateur centrifuge pour gazogène.

1. Disque garni d'ailettes. — 2. Collecteur de vent. — 3. Œillard.
4. Surfaces directrices. — 5. Poulie de commande.

Injecteur à vapeur pour gazogène.

Système Böhler.

1. Tuyau de vapeur. — 2. Ajutages divergents. — 3. Sortie du vent humide.

poids inférieur ou tout au plus égal à celui de la colonne de gaz froid, plus courte, qui remplit la cheminée de tôle. Comme la base de la colonne de gaz chaud est à la pression atmosphérique, la pression statique à la prise de gaz au bas de la cheminée de tôle sera au moins égale à la pression atmosphérique. Le siphon crée donc, par lui-même et sans le secours de la cheminée, un appel de gaz à travers les gazogènes vers la cloche de distribution. Comme à la pression statique s'ajoute la pression dynamique due à la vitesse, la canalisation de gaz tout entière est en charge, ce qui évite les rentrées d'air et les risques d'explosion.

Le refroidissement du gaz présente cependant un notable inconvénient, la condensation des goudrons; des carbures qui, avec des gaz conservés chauds, auraient pu parvenir jusqu'au four et y brûler, se liquéfient auparavant, et se déposent dans les conduites. C'est pourquoi il est nécessaire de munir la canalisation de chambres de dépôt, où l'épanouissement du jet de gaz et un changement de direction viennent en aide au refroidissement pour accentuer la précipitation des goudrons. Tout particulièrement, la cloche à gaz sera précédée d'une chambre de grande capacité, où se déposeront les carbures les plus volatils qui ne se seraient pas encore condensés. Depuis les gazogènes jusqu'à la fosse à goudron, la fluidité du brai augmente, car ce sont naturellement les moins volatils qui sont les plus secs. Néanmoins, une notable proportion des goudrons traverse les chambres des récupérateurs et s'y dissocie.

Nettoyage des galeries à gaz. — A chaque changement de direction des galeries à gaz se trouve un clapet de sûreté, à joint de sable ou luté à la terre; ces clapets servent aussi à pénétrer dans les galeries pour les nettoyer. Suivant que les gazogènes sont soufflés ou non, ce sont les poussières ou les goudrons qui dominent; d'ordinaire c'est un mélange qui acquiert assez de dureté en se refroidissant. Les goudrons liquides sont recueillis dans des culs-de-sac placés aux changements de section des conduites; ils s'en écoulent par une ouverture inférieure, bouchée avec un tampon de bois qu'on enlève une fois par jour. Les goudrons plus secs adhèrent fortement aux parois des conduites.

On nettoie les galeries dès que l'on s'aperçoit au four d'une diminution, de pression dans l'alimentation, indice d'une réduction de section des canalisations. On doit alors faire un complet nettoyage de celles-ci, à moins que la disposition des appareils ne soit telle

que l'accumulation des déchets se produise en un point déterminé, d'accès facile et susceptible d'être nettoyé rapidement.

On isole complètement les gazogènes au moyen des clapets ; le four est également mis hors circuit, par fermeture complète des arrivées de gaz et d'air, et du tirage à la cheminée. Les portes sont lutées, et le trou de coulée grossièrement bouché, de sorte que le four est peu exposé à se refroidir. On peut ouvrir immédiatement les clapets voisins de la cloche à gaz, et soulever cette cloche, car la température y est généralement assez faible pour que l'inflammation du goudron n'ait pas lieu spontanément ; on aère ainsi convenablement, et le nettoyage commence aussitôt par les endroits les plus proches des regards. Le séjour dans les conduites est malsain, car les goudrons dégagent des matières volatiles, et les cendres conservent de l'oxyde de carbone occlus qui se dégage lentement. Il est prudent de mettre un homme en faction à côté du regard, et d'attacher ceux qui descendent dans les galeries ; on les munit de sabots, de gants en cuir et de lunettes.

Les conduites les plus chaudes ne sont ouvertes qu'après un temps assez long, deux ou trois heures, pour que leur gaz puisse s'échapper progressivement et soit remplacé par de l'air. Un brusque afflux d'air froid enflammerait les suies, qu'il serait ensuite très difficile d'éteindre.

Les goudrons sont détachés avec des crochets ou des pics, et remontés dans des seaux au moyen d'un échafaudage volant, installé au-dessus du regard ; les poussières sont aussi retirées dans des seaux. On rencontre fréquemment des amas de noir de fumée très léger ; ils proviennent d'une dissociation des carbures lourds qui s'est produite après la sortie du gazogène, par mélange avec un gaz plus chaud, ou par combustion partielle de ces gaz au contact des rentrées d'air inévitables à travers les fissures de la maçonnerie.

Aussitôt que le nettoyage est achevé, on procède à l'appel des ouvriers, pour s'assurer qu'aucun d'eux n'est resté dans les conduites ; les clapets sont fermés, puis le gaz est remis dans la canalisation.

Nettoyage des récupérateurs. — Il n'est pas possible de pénétrer avant un long refroidissement dans les galeries conduisant le gaz depuis la cloche jusqu'aux récupérateurs. Elles sont sujettes à s'encrasser non de goudron, mais de cendres, et particulièrement de

carbone naissant dû à la dissociation des carbures non saturés qui n'ont pas été détruits auparavant. Lorsque, après une inversion, le gaz est admis à pénétrer dans les récupérateurs portés au rouge, la dissociation s'effectue et le carbone pulvérulent se dépose sur les briques; la chaleur le transforme en graphite, analogue à celui des cornues à gaz. L'inversion suivante est incapable de brûler ces dépôts dès leur production, car les récupérateurs ne sont traversés que par des fumées renfermant trop peu d'oxygène libre pour pouvoir brûler du graphite. Il faut les brûler sur place par un courant d'air pur chaud, ce que l'on fait dès l'arrêt du four avant qu'il ne soit refroidi.

On dispose à cet effet la cloche à gaz pour former un circuit comprenant la chambre à gaz montante, le four, la chambre descendante et la cheminée ; les vannes à gaz et à air sont complètement fermées. Ouvrant le regard de la galerie de la chambre montante (regard situé près de la cloche à gaz), on y fait passer un courant d'air qui commence l'oxydation ; afin de conserver dans la chambre une température suffisante pour assurer une combustion complète, on jette par le regard du bois à longue flamme qui entre aussitôt en combustion et assure le tirage. Comme cette combustion a lieu en présence d'un excès d'air, l'inflammation des suies n'en est pas gênée; elle se continue au contact d'air déjà chauffé, ce qui facilite leur oxydation; les cendres qui en restent sont entraînées vers la cheminée par le courant gazeux. Quand une des chambres est ainsi nettoyée, on change le sens du courant dans le four, et on met l'autre chambre à gaz en combustion; chaque opération dure de quatre à cinq heures. On ferme ensuite les regards pour isoler le four et lui conserver sa chaleur. Cette opération peut être ainsi pratiquée pendant le nettoyage des galeries à gaz.

Cependant, au lieu d'employer du bois pour chauffer l'air de combustion, on peut recourir au gaz lui-même : on arrête le passage du gaz dans le four tout en le conservant dans la conduite, la vanne étant complètement fermée. On oriente alors la cloche de manière à assurer le circuit : on ouvre le regard de la galerie de la chambre à gaz montante pour y jeter quelques bûches de bois bien enflammées ; on rabat alors presque complètement le regard pour que très peu d'air passe par la galerie, de façon à y laisser une atmosphère pauvre en oxygène. L'air qui y pénètre brûle le bois, mais l'oxygène qu'il contient est dilué dans beaucoup de gaz inerte. Lorsque les chambres et le four sont remplis de cet air peu actif, on ouvre très légèrement

la vanne à gaz. Au contact de la flamme du bois avec de l'air pur, le gaz s'enflamme sans explosion et, au cas où l'inflammation n'a pas lieu immédiatement, sa combustion ne peut pas s'étendre dans la galerie remplie de gaz inerte. Dès que le gaz est enflammé, tout danger d'explosion disparaît; on ouvre la vanne à gaz davantage, puis le regard en plein, de façon à produire dans la galerie une flamme chaude fortement oxydante. La combustion est ainsi beaucoup plus rapide qu'avec le bois, et elle refroidit moins le four. Il est prudent, pour allumer le gaz, de ne pas rester à proximité du regard, car, si la combinaison n'est pas immédiate, elle produit à l'extérieur un jet de flamme qui peut être dangereux.

CHAUFFAGE AU GAZ

Le chauffage au gaz s'effectue dans le laboratoire même du four par la combustion du gaz et de l'air préalablement chauffés et convenablement réglés. Pour que la combinaison soit rapide, il importe que les deux fluides soient en contact intime et tendent à se pénétrer mutuellement ; on doit donc rechercher une grande division du jet de gaz avec une surface de contact étendue. On y arrive au moyen de brûleurs très plats, simples ou multiples, d'où les fluides sortent en nappes convergentes.

Les premiers fours de Siemens comportaient des brûleurs sandwich : l'air et le gaz sont divisés en lames verticales, minces, parallèles entre elles; le gaz est environné de deux lames d'air, ce qui évite de brûler les parois du four. La combustion ainsi disposée est bonne, mais il en résulte une grande complication pour la maçonnerie ; les cloisons qui séparent l'air et le gaz sont en outre assez minces — 20 à 25 centimètres — et sujettes par conséquent à une usure rapide ; des fissures s'y forment, bien en arrière du nez des brûleurs, de sorte qu'une partie des gaz se combine avant d'arriver au four. En outre, les voûtes ont souvent à souffrir de cette disposition, car le gaz, plus léger que l'air, tend à s'élever et à brûler au voisinage de la brique qui est rapidement attaquée ; il faut, en ce cas, incliner fortement les carneaux de gaz sur la sole, pour contrebalancer cette tendance de la flamme à s'élever vers la voûte.

Des fours construits sur ce principe sont encore en usage, mais on

préfère actuellement les carneaux plats superposés. Le gaz, toujours amené à la partie inférieure, débouche très près de la sole; l'air arrive au-dessus. L'inclinaison des carneaux à gaz sur la sole est de 20 à 30° ; celle de l'air est plus grande, de manière que la nappe d'air coupe le gaz avant le centre du four, à hauteur de la première porte. Le contact est ainsi bien plus intime; il se traduit, à l'intersection des deux nappes, par une zône de combustion intense produite au voisinage de la sole, c'est-à-dire au point le plus favorable pour un bon chauffage et pour la conservation de la voûte. Le gaz et la zône de combustion sont donc isolés de la voûte et reportés vers la sole.

Il en est de même latéralement; les carneaux à gaz sont ou parallèles ou convergents, mais en tout cas voisins de l'axe de la sole, et éloignés du mur d'arrière et des portes. L'air déborde latéralement, de sorte que la nappe suivant la voûte s'infléchit et protège la maçonnerie; au milieu de ce fourreau se produit la combustion. Il serait dangereux pour la conservation des portes d'amener à leur voisinage du gaz combustible, qui serait immédiatement enflammé par les rentrées d'air, impossibles à éviter complètement.

Caractéristiques d'une bonne combustion. — Le chauffage au gaz permet de régler facilement l'atmosphère, en agissant immédiatement sur les rapports mutuels des quantités de gaz et d'air. Pour être complète et économique, toute combustion doit présenter un excès d'air, car l'affinité de l'oxygène pour l'oxyde de carbone, même aux hautes températures, est fortement réduite par la dilution du gaz. De tous les combustibles, le gaz est celui qui nécessite le moindre excès d'air pour une combustion complète, en raison de la grande surface de contact qu'il offre et de la mobilité des molécules.

La haute température de l'air lui donne une certaine luminosité, mais la flamme n'apparaît, longue et éclairante, qu'à la sortie des carneaux à gaz. Les fours alimentés par des gaz riches en hydrogène et en oxyde de carbone ont des flammes peu visibles, ayant plutôt l'aspect d'un brouillard confus ; tandis que ceux qui sont chauffés par les produits de gazéification de la houille ont une flamme très nette : au nez des brûleurs, elle a la même origine que celle des appareils d'éclairage. Elle est due aux hydrocarbures qui brûlent partiellement et se décomposent; le carbone rendu libre ne brûle pas immédiatement, mais la combustion de l'hydrogène le porte à une température élevée qui le rend incandescent.

Ce caractère permet de juger de l'allure de la combustion, tout en ne donnant que des indications comparatives, puisque chaque genre de gaz donne une flamme particulière, très éclairante pour les gaz de distillation, très ténue et presque incolore pour les gaz de réactions. Ordinairement, avec un gaz de gazogène alimenté à la houille, la flamme est allongée, à bords très nets à la sortie des brûleurs, puis elle devient moins précise vers son extrémité. On peut voir nettement la surface de séparation du jet gazeux dans l'atmosphère qui l'environne autour du brûleur; les filets gazeux qui rencontrent un obstacle produisent un tourbillon, analogue aux remous d'un cours d'eau.

Vers le milieu du four, la flamme s'est élargie; elle devient beaucoup moins nette. Tant par la diffusion spontanée que par la convection, le gaz non brûlé s'est mélangé davantage à l'air, et la combustion est plus intime, car elle est disséminée sur une vaste étendue. Enfin, près des brûleurs des chambres descendantes, la flamme est discontinue, très transparente, à peine visible; à ce moment, le mélange est complet, et les combinaisons ont lieu entre des réactifs tellement dilués que leur intensité s'en trouve fortement amoindrie.

Lorsque la combustion se fait par un excès d'air ou un manque de gaz, la flamme, courte, ne présente point de bords nets à sa sortie des brûleurs, car presque aussitôt l'air et le gaz inerte dominent; elle est peu éclairante, transparente, déchiquetée, et ne dépasse pas quelquefois la porte du milieu du four. L'air en excès, échauffé par la combustion, gagne la partie supérieure de la voûte, où on le voit flotter, grâce aux ondes de réfrangibilité variable qu'il engendre. Le four tend à se refroidir, les gaz inertes ou sans emploi absorbant en pure perte une notable partie de la chaleur dégagée.

Un excès de gaz crée dans le four une atmosphère réductrice, qui exalte la luminosité de la flamme par rapport à la couleur du four. La combustion des carbures est moins complète qu'en allure normale; aussi, au nez des brûleurs, n'est-elle pas même visible; le pied de la flamme reste sombre; plus loin, elle devient très blanche, ondulée, et se prolonge ainsi jusqu'à l'extrémité du four. Des filets gazeux non brûlés sortent fréquemment par les portes, et viennent brûler, fumeux, à l'extérieur. Quelquefois même, avec des gaz très riches en hydrocarbures, on voit nettement se produire leur décomposition, donnant sur les bords de la flamme une buée noire de carbone naissant. On remédie à une mauvaise proportion entre les

combustibles en agissant convenablement sur les vannes d'air et de gaz, soit en ouvrant simplement celle dont l'admission est insuffisante, soit en ouvrant l'une et en fermant l'autre, soit en agissant sur l'une d'elles et sur le registre de tirage à la cheminée.

C'est d'ailleurs au moyen des registres de tirage que l'on règle l'intensité de la combustion dans le four, en conservant les vannes de gaz et d'air pour le réglage de leurs proportions mutuelles. Les fours sont généralement construits de telle sorte que les deux carneaux de fumées, desservant l'un les récupérateurs à gaz, l'autre les récupérateurs à air, soient munis chacun d'un registre de réglage avant leur réunion dans le collecteur de fumées. La manœuvre combinée de ces quatre vannes permet de maintenir dans le four une pression inférieure ou supérieure à la pression atmosphérique. On cherche normalement à conserver dans le laboratoire une pression sensiblement égale à la pression extérieure ou très légèrement inférieure; les rentrées d'air, qu'on réduit au minimum, se produisent par le seuil et la feuillure des portes, par toutes les fissures de la maçonnerie, et tendent ainsi à protéger la construction contre l'action de la flamme.

Une trop forte dépression nuit au chauffage, car elle amène un excès d'air qui provoque un refroidissement intense et une atmosphère trop oxydante. On s'en aperçoit quand, en levant les portes du four, le jet de gaz est fortement dévié et incurvé par le courant d'air ; en bonne allure, l'ouverture des portes doit être sans action sur la direction de la flamme. Par contre, une surpression qui se manifeste par une sortie des flammes à la feuillure des portes et à travers les fissures produit une usure plus rapide de la maçonnerie.

On y remédie au moyen des vannes de tirage, que l'on ferme pour réduire la dépression, et que l'on ouvre au contraire quand la flamme refoule dans le laboratoire. Il y a des nuances à observer dans la conduite du tirage : une dépression intense peut provenir d'un excès de tirage ou d'une trop faible admission du gaz et de l'air; on agira donc d'abord sur les vannes à gaz et à air ; tout en conservant à leurs débits le même rapport, on les augmente le plus possible avant de toucher au tirage. Par contre, lorsque le four refoule sur toute la façade, autant du côté des chambres montantes que de l'autre, c'est que l'alimentation est exagérée : il faut donc la réduire. Si le four ne refoule que du côté des chambres descendantes, l'excès de résistance du circuit est postérieur au laboratoire; c'est donc sur les vannes de tirage qu'il convient d'agir.

L'observation de la flamme montre également si les températures du gaz et de l'air sont convenables. On doit normalement rechercher une température sensiblement égale, car aucune raison théorique ne milite en faveur d'une différence dans un sens ou dans l'autre. Cependant, dans le but de conserver la voûte, il est bon que l'air soit suffisamment chaud par rapport au gaz, pour que la combustion s'effectue au voisinage de la sole; la chaleur est ainsi mieux utilisée, et la durée du four prolongée. Quand le gaz est trop chaud, la flamme s'épanouit vers le haut dès la sortie des brûleurs, frappe la sole sous une faible inclinaison et se relève immédiatement vers la voûte. Cette rupture d'équilibre tend d'ailleurs à se modérer d'elle-même dans les fours où les carneaux d'air et de gaz sont superposés : les fumées restent de préférence au sommet, et la majeure partie du tirage s'effectue par le carneau supérieur correspondant à la chambre à air, qui se trouve ainsi réchauffée.

Lorsque, inversement, l'air est trop chaud, la combinaison se fait mal : le gaz, malgré sa densité naturelle inférieure à celle de l'air, ne tend pas à s'élever; l'air reste au sommet du laboratoire sous la voûte, et n'arrive en contact avec le gaz que par la surface de séparation sans qu'il y ait mélange par pénétration.

On favorisera à volonté le réchauffage de l'air ou du gaz, en manœuvrant convenablement les vannes correspondant aux récupérateurs, de manière à faire passer dans la chambre à réchauffer plus de fumées, qui abandonnent plus de calories, et élèvent ainsi sa température.

Inversion de sens du courant gazeux. — L'inversion du courant gazeux dans la boucle comprise entre les vannes d'inversion, c'est-à-dire formée des récupérateurs et du four, est réglée par la condition d'un chauffage uniforme du laboratoire. On ne peut donner de règle précise quant au temps qui sépare deux inversions successives; tout dépend de la capacité des récupérateurs, de la conduite du four, de la période de l'opération où l'on se trouve. Pour que le chauffage soit sensiblement invariable, il faut inverser dès que la température des chambres montantes s'abaisse sensiblement.

Théoriquement, les chambres sont disposées pour que la température à leur sommet demeure constante, et égale à la température adoptée pour le gaz ou l'air (entre 900 et 1.050°). La quantité de chaleur absorbée ou cédée par les chambres est fournie uniquement par la partie inférieure des empilages, alors que les assises supérieures de ces derniers restent à la température maxima. Pratiquement, on

admet une légère chute de température dans la période qui sépare deux inversions, chute ne dépassant pas 20 à 40°. En envisageant ainsi la question, il est possible, avec des chambres d'une capacité quelconque et des intervalles d'inversion réglés en conséquence, d'obtenir pour les gaz une température de sortie constante.

Lorsqu'on augmente la capacité des empilages, on se réserve la faculté de diminuer la fréquence des inversions, qui sont toujours une cause de refroidissement, par suite de l'arrêt momentané du chauffage pendant le rétablissement du courant, et surtout par suite du court-circuit momentané à la cheminée pendant la rotation de l'appareil d'inversion. Des chambres trop vastes donnent cependant moins d'élasticité à la conduite du four, qui est lent à refroidir, lent à réchauffer ; les pertes par transmission sont plus importantes, et les frais d'établissement notablement accrus.

La pratique a fixé des limites à la fréquence des inversions : de 20 minutes pour les petits fours à 40 pour ceux de grande capacité. Pour ces derniers, le trajet des gaz, étant plus prolongé, permet d'obtenir dans les carneaux une température à peu près uniforme. On peut d'ailleurs, pendant une opération, faire varier l'intervalle entre les inversions, pour réchauffer ou refroidir les chambres. On prépare toujours les récupérateurs pour la période qui précède la coulée, en les réchauffant convenablement par des inversions plus fréquentes qui élèvent la température moyenne et font absorber aux gaz une quantité de chaleur plus considérable. On peut ainsi se dispenser de faire une inversion quelques minutes avant la coulée, afin d'éviter le refroidissement et la perturbation d'allure qui en résultent.

Souvent, quand les fours vieillissent, un des groupes de récupérateurs n'est plus semblable à l'autre ; il en résulte de sérieuses variations dans la conduite du four, quoique cependant l'alternance même du sens de chauffage soit un régulateur de son uniformité. Si le groupe montant est plus chaud, à un moment donné, que le groupe descendant, la température du four s'élèvera dans l'intervalle du renversement; les fumées, étant elles-mêmes plus chaudes, réchaufferont davantage le groupe descendant; lorsque l'inversion sera effectuée, si ce dernier groupe, dont le rôle se trouve changé, est encore au-dessous de sa température normale, les fumées provenant des gaz qui l'auront traversé seront également plus froides, et céderont peu de chaleur au groupe primitivement trop chaud.

Toutefois, quand d'une manière chronique, par suite d'un état de construction qui nuit au tirage d'un groupe de récupérateurs, ce

groupe reste moins chaud que l'autre, on ramène la température à une moyenne convenable, en conservant le groupe froid comme groupe montant quelques minutes en moins que le groupe chaud. Les deux actions régulatrices s'ajoutent et assurent pour le four une température de régime pratiquement constante.

CHAPITRE XIV

CONSTRUCTION DES FOURS MARTIN

LABORATOIRE

Dimensions. — La détermination des dimensions d'un four Martin repose, comme celle des convertisseurs, sur le poids de métal que l'on veut obtenir à chaque opération, et sur le procédé de fabrication que l'on emploie. Le laboratoire, où se produisent les réactions, est le premier élément qu'il convient de fixer.

La cuvette de la sole a pour rôle de contenir le métal et la scorie; de même que pour les convertisseurs, un four basique devra, à égalité de charge métallique, présenter de plus fortes dimensions qu'un four acide, car la proportion de scorie est plus grande. La capacité déterminée est comprise entre le fond de la sole et le seuil des portes, puisque le décrassage a lieu par le seuil même; toutefois, comme on est amené, en pratique, quand la charge séjourne plus que normalement dans le four, à faire des additions diverses, on doit donner à la capacité une valeur supérieure à celle que l'on a obtenue rigoureusement, ou, ce qui revient au même, à faire des charges plus faibles que la charge maxima susceptible d'être traitée; on se réserve ainsi une augmentation éventuelle de 10 à 15 0/0 de la charge normale.

Il faut également tenir compte de ce que la sole ne conserve pas indéfiniment son état primitif; les soles basiques se garnissent, et leur capacité diminue.

On est conduit ainsi à adopter les chiffres suivants :

POIDS NORMAL D'UNE OPÉRATION	CAPACITÉ DE LA SOLE EN MÈTRES CUBES	
	PROCÉDÉ ACIDE	PROCÉDÉ BASIQUE avec déphosphoration
4 tonnes	0,7	0,9
6 —	1,0	1,25
8 —	1,4	1,7
10 —	1,7	2,1
12,5 —	2,1	2,6
15 —	2,5	3,1
20 —	3,5	4,25
30 —	5,0	6,25
40 —	7,0	8,25
50 —	8,5	10,30

La capacité de la sole peut être réalisée en augmentant sa profondeur ou sa superficie; d'où deux types de soles : creuses et plates.

Les premières, ayant pour un poids donné de métal une surface de contact avec la scorie assez faible, conservent plus facilement le métal fondu sans grande oxydation ; on les recherche donc lorsqu'on emploie le four Martin comme appareil de refonte, c'est-à-dire quand la charge se compose presque uniquement de vieilles ferrailles, avec la quantité de fonte minima. Elles demandent un dispositif de brûleurs permettant de chauffer fortement la surface par un épanouissement de la flamme ; les carneaux de gaz sont très inclinés (jusqu'à 45°), et raccordés avec les parois latérales de la sole ; la voûte reste basse ; les voûtelettes constituant les carneaux d'air se prolongent avec leur inclinaison jusqu'au-dessus de la sole même, de manière à forcer la flamme à la frapper sans ricocher à sa surface.

Les soles plates à grande superficie conviennent au contraire lorsqu'on a à effectuer une forte oxydation ; le contact entre la scorie et le métal est beaucoup plus étendu. On fera donc ainsi les soles basiques destinées à la déphosphoration, et celles sur lesquelles on doit charger de grandes proportions de fonte. La flamme qui les chauffe doit s'étaler en nappe et se prolonger jusqu'aux brûleurs de l'autre tête ; aussi les carneaux de gaz sont-ils faiblement inclinés, à 25 ou 30°, et souvent convergents vers le centre ; la voûte qui les surmonte reste parallèle à la sole, et commence à l'aplomb même du nez des brûleurs ; elle conserve ainsi une plus grande capacité au laboratoire, et reste moins exposée à la flamme.

L'épaisseur du bain métallique varie donc suivant la nature du travail à effectuer; elle est de 40 à 75 centimètres pour les fours acides; avec les soles basiques plates, elle s'abaisse à 35 centimètres lorsqu'on charge beaucoup de fonte phosphoreuse.

La sole est rectangulaire avec angles arrondis, les grandes faces sont légèrement renflées vers le milieu; un tel profil résulte d'ailleurs des mouvements du bain pendant la coulée et le décrassage. La construction des piédroits est rectiligne; seul le garnissage de la sole reçoit les modifications de tracé que l'usage a indiquées comme favorables.

La longueur de la sole dépend de celle de la flamme ; pour que le four chauffe bien également, il faut que la flamme visible produite par les combinaisons du gaz et de l'air s'effectue presque jusqu'au nez des brûleurs des chambres descendantes, afin que le chauffage n'ait pas uniquement lieu par contact des gaz chauds, mais aussi par rayonnement des gaz en réaction dont la température dépasse celle de l'atmosphère ambiante. Une sole trop longue a l'inconvénient de mal chauffer, surtout à la fin de l'opération, quand la combustion du gaz est accélérée par une chaleur élevée ; la température du bain et sa composition ne sont pas uniformes. Une sole trop courte nuit à la bonne conservation du four, car, si la combinaison se produit au voisinage des brûleurs, elle les corrode fortement ; la chaleur est moins bien utilisée ; les gaz sont trop chauds, et les récupérateurs, trop chauds aussi, laissent échapper les fumées à une température supérieure à celle qui suffit pour assurer le tirage de la cheminée.

CAPACITÉ EN TONNES	SOLES PLATES			SOLES CREUSES		
	SURFACE	LONGUEUR	LARGEUR	SURFACE	LONGUEUR	LARGEUR
	Mètres carrés	Mètres	Mètres	Mètres carrés	Mètres	Mètres
4	7	4	2	5	3,5	1,6
6	7,5	4,5	2,2	7,2	4	2
8	9,8	5	2,2	8,8	4,5	2,1
10	10,0	6	2,3	10	5	2,1
12,5	12,0	6,5	2,3	11	6	2,2
15	13,5	7	2,4	12	7	2,2
20	16,0	8	2,5	15	7,5	2,5
30	24,0	9	3	21	8	2,8
40	32,0	10	3,3	»	»	»
50	40.0	11,5	3,6	»	»	»

La largeur, même dans les grands fours, ne peut dépasser une certaine limite, car les réparations s'effectuent par la face de chargement, et elles deviennent difficiles à exécuter lorsque cette dimension a plus de 3^{m},50.

Le rapport entre la longueur et la largeur diminue quand la capacité de la sole augmente ; il est déterminé par les conditions d'une combustion complète, et par la largeur maxima.

Sole. — La sole des fours de fusion affecte la forme d'une cuvette dont la capacité est appropriée à la contenance du four ; les bords relevés de cette cuvette se rejoignent avec les piédroits ; elle est symétrique et reçoit les éléments du chauffage alternativement par l'une et l'autre de ses extrémités. Comme elle doit résister à l'action de l'acier fondu et de la scorie, elle sera donc, suivant le mode de travail, revêtue de matériaux acides ou de matériaux basiques.

Les premières soles étaient établies avec une forte épaisseur ; mais on reconnut dans la suite que, comme pour les voûtes, l'usure cesse spontanément, quand l'épaisseur est assez réduite pour que le refroidissement extérieur et le chauffage intérieur produisent un état d'équilibre, dépendant d'ailleurs des circonstances et de la nature des matériaux réfractaires. Aussi construit-on maintenant les soles assez minces, avec une disposition spéciale pour l'aérage inférieur : cette dernière précaution donne beaucoup plus de sécurité qu'une augmentation d'épaisseur.

Sous les fours se trouvent généralement les chambres de récupération, soumises à des dilatations répétées ; on ne peut pas y faire reposer directement la sole, qui, en raison du poids qu'elle supporte, doit présenter une assise suffisamment stable pour ne pas éprouver d'affaissement. Le laboratoire, comprenant la sole, les piédroits et la voûte, forme un tout unique, au moyen d'un système d'armatures reposant, non sur des massifs de maçonnerie isolés, mais sur deux murs longitudinaux séparés des récupérateurs, et dont la crête reçoit deux longues poutres en fonte ou en acier. La sole même repose sur un plancher en fer faisant partie de cette armature, et composé de traverses transversales s'appuyant sur les poutres des massifs ; ces derniers restant à température sensiblement constante, et les poutres atténuant encore les mouvements locaux de faible amplitude qui peuvent se produire, l'assise peut être considérée comme immuable.

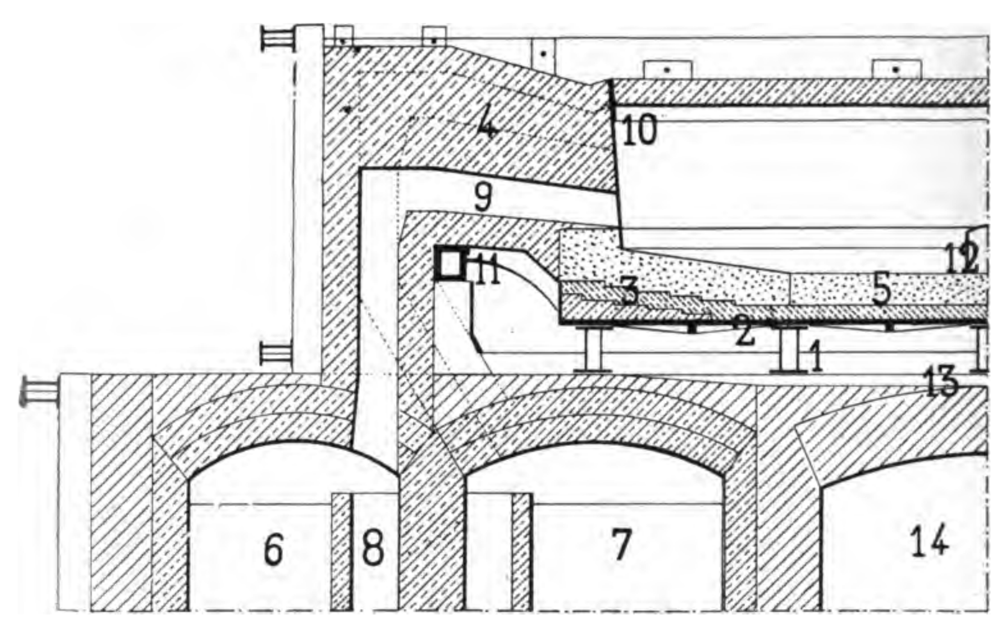
Sur l'armature des poutrelles, dont on laisse les extrémités libres

pour permettre la circulation de l'air, on établit des plaques en fonte qui supportent la voûte et les piédroits ; on constitue ainsi une caisse métallique résistante, que l'on garnira ensuite de matériaux réfractaires. Ces plaques de fonte sont de grandes dimensions, 1 mètre × 2 mètres avec 6 à 7 centimètres d'épaisseur ; on les fait en fonte peu fragile, supportant bien la chaleur, de préférence très grise, non phosphoreuse ; on laisse entre elles, pour la dilatation, un joint protégé par des bandes de tôle mince contre un remplissage accidentel par des débris de briques.

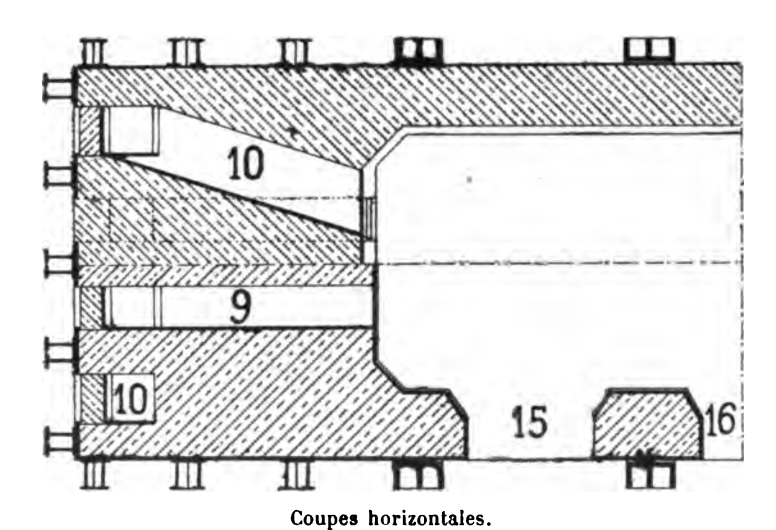
Quelle que doive être la nature de la sole, on recouvre les plaques d'une couche de briques de silice ou de magnésie, qui, au cas d'une percée de la sole supérieure, retient quelque temps le métal qui la recouvre. Sur les bords de cette sorte de caisse se trouvent les fondations des piédroits et des autels, qui sont élevés en briques jusque sous la voûte. La portion de la sole constituée par des briques est faite en même temps que les piédroits ; le reste est damé une fois que le four est terminé, de façon que nulle souillure ne se produise avant la cuisson. On termine d'ailleurs toujours la partie supérieure de la sole (celle qui sera en contact avec le métal ou la crasse) par une couche damée d'un seul bloc et ne présentant pas de joint ; cette opération se fait soit avant de mettre le feu au four, soit quand celui-ci est chaud.

Les soles acides sont construites avec des briques de silice de première qualité, dont la composition est semblable à celle des briques de voûte. On les place de champ, de manière à constituer une couche de 11 centimètres, sans interposition d'aucun mortier ; comme la chaleur les fait gonfler, on borde le fond de la sole par deux bandelettes en tôle, maintenues à 15 ou 20 millimètres des armatures au moyen de cales en bois que la chaleur calcinera et fera disparaître. Quand la sole est terminée, on répand à sa surface de la fine poussière de quartz qu'on fait entrer de force dans les joints en frottant à sec avec une vieille brique ; il est indispensable de ne pas humecter d'eau le sable, qui s'agglomérerait et ne glisserait plus. On obtient ainsi une aire rigide d'un seul bloc, sur laquelle sera damée et cuite une sole en quartz.

Les soles basiques se font de la même manière que les précédentes, en employant des briques de magnésie très fortement calcinées ; il est inutile de ménager des joints de dilatation, la magnésie ne gonflant pas au feu. On les fait quelquefois en deux couches superposées de briques à plat, avec joints croisés ; quand la première couche



Coupe verticale.



Coupes horizontales.

Four Martin basique.

1. Charpente métallique de la sole. — 2. Dallage en fonte. — 3. Briques de magnésie. — 4. Briques de silice. — 5. Pisé de dolomie. — 6. Récupérateur à gaz. — 7. Récupérateur à air. — 8. Chambre de sûreté. — 9. Carneau à gaz. — 10. Carneau à air. — 11. Bâche à eau. — 12. Trou de coulée. — 13. Cuvette de sûreté. — 14. Galerie de décrassage. — 15. Porte de chargement. — 16. Porte de décrassage.

est achevée, on jointoie avec de la poussière de magnésie, qu'on peut légèrement imprégner de goudron pour la rendre moins volatile ; on la polit avec une brique que l'on frotte à la surface comme dans la construction d'une mosaïque, puis la deuxième couche s'exécute de même.

Les soles neutres en fer chromé peuvent être établies directement sur les plaques en fonte, bien que généralement on les place sur un rang de magnésie briqueté à plat.

Piédroits des fours acides. — Les piédroits forment les murs verticaux de la caisse constituant le laboratoire du four. Ils sont maintenus par des armatures reliées transversalement à leur sommet au moyen de tirants, entre les murs d'avant et d'arrière, et appuyées à leur base sur la charpente en poutrelles qui supporte la sole.

Ces armatures sont des poutrelles en caisson traversées par des tirants munis de boulons de tension, ou mieux de tendeurs à ressorts dont la flexion indique l'effort auquel ils sont soumis. Leur base prend appui contre une forte butée qui les empêche de s'écarter. Entre les armatures principales se trouvent des plaques en fonte ou en acier coulé, qui garnissent complètement la maçonnerie, en laissant les ouvertures convenables pour le chargement et la coulée : elles portent les ferrements nécessaires pour la marche et l'entretien du four. Chaque plaque d'armature est indépendante des autres et n'est pas solidaire des poutrelles qui la soutiennent ; on peut ainsi en modifier l'inclinaison à volonté pour suivre les mouvements de la maçonnerie. Il est mauvais d'employer de la tôle, qui se gondole sous l'action du feu et dont le remplacement est plus difficile.

La face avant du four, ou face de chargement, est généralement percée de trois portes, dont la plus petite, celle du milieu, sert au décrassage ; c'est cette dernière que l'on ouvre le plus souvent pour observer le four ou pour y travailler. Ces baies sont formées par un seuil, deux costières latérales, et un cintre ; les portes elles-mêmes glissent dans un châssis rapporté, qui, en raison de ses risques de détérioration, est fait en fonte et facile à remplacer. Il se fixe aux armatures ou aux plaques de blindage au moyen de boulons à clavettes ; quelquefois, plus simplement, il forme plaque de blindage entre deux des montants verticaux sur lesquels on le clavette.

Sur le mur d'arrière portant le trou de coulée, il n'y a pas d'autre ouverture que ce trou, pratiqué au point le plus bas de la sole, et se composant uniquement d'une chapelle ménagée dans une plaque de

blindage ; on y fixe un chenal en fonte au bout duquel s'adapte le chenal de coulée.

Les piédroits des fours acides sont montés en briques de silice de dimensions courantes. On donne à la base un talus de 50 à 65° raccordé à la sole par une courbe, car la partie supérieure tend toujours à descendre et à augmenter d'empattement. Les briques sont placées à plat, par couches successives et à joints croisés, avec un faible jeu du côté de la plaque de blindage. Elles sont taillées, s'il y a lieu, et hourdées avec un coulis réfractaire fortement siliceux, fait de ganister naturel ou de brique finement pulvérisée mélangée à de l'argile réfractaire ; ce coulis est tamisé avant l'emploi, et les briques, plongées un instant seulement, en retiennent fort peu.

On donne le talus au moyen d'un retrait des couches horizontales, en abattant grossièrement les angles, ce qui n'est même pas bien utile ; on fait aussi parfois, sans en retirer grand avantage, des lits normaux à la pente du talus ; en ce cas, la solidité est moindre, car le mur tout entier tend à glisser dans le bain si sa base se corrode ; on rencontre en outre plus de difficulté dans la pose et la taille des briques. On atteint ainsi le sommet du piédroit, à quelques centimètres au-dessous de la voûte, en conservant à cet endroit une épaisseur de 30 à 35 centimètres ; la base atteint 60 centimètres et même davantage.

La confection des portes est délicate ; à cette place, surtout, il faut donner un fort empattement aux piédroits, car c'est sur trois faces que les effondrements tendent à se produire ; on ne peut réduire la largeur du piédroit entre deux portes au-dessous de 50 centimètres sans s'exposer à voir tomber les cintres fermant le sommet des baies. La maçonnerie des costières est appuyée sur les châssis des portes, débordant sur eux de 5 à 8 centimètres, pour les protéger. De grosses briques sont préférables pour les costières, car elles se maintiennent mieux, en raison de leur masse et de la diminution du nombre des joints ; pendant la marche, on les répare, s'il y a lieu, avec une rangée de briques de silice qu'on y applique à chaud.

Les costières supportent les sommiers des cintres des portes, faits également en grosses briques s'appuyant contre l'armature. Ces cintres ont au moins 30 centimètres de largeur et 25 centimètres d'épaisseur. Les portes latérales ont leurs retombées aux extrémités du four, sur les piédroits ; on ne doit jamais compter beaucoup sur la résistance des costières intermédiaires, car elles s'effondrent peu à peu. On fait même dans certains cas un seul cintre sur toute la longueur du four, mais il est exposé à tomber dès qu'il est entamé ; la pous-

sée est plus considérable et les réparations plus difficiles qu'avec des cintres particuliers pour chaque porte.

Les cintres sont en briques siliceuses ; comme leur résistance doit être plutôt mécanique que chimique, on peut augmenter la proportion d'alumine, sans inconvénient pour la durée; il importe seulement de les faire en briques sans joints, pour éviter les tassements et les inégalités dans les efforts.

Piédroits des fours basiques. — Les piédroits des fours basiques sont en matériaux basiques jusqu'à un niveau dépassant de 20 à 30 centimètres celui du bain. Fréquemment même, on les élève ainsi jusqu'à la hauteur de la voûte, afin d'éviter un joint entre matériaux siliceux et basiques. Le mur d'arrière est monté complètement en magnésie ; cependant, par économie, on peut laisser contre le blindage un rang de briques de silice, au moins dans la plus forte épaisseur du mur. La magnésie tend à s'effondrer ; mais, sa base étant maintenue par le talus, le mur peut être réparé par le sommet.

Les costières d'avant, destinées à supporter les cintres des portes, ne peuvent être complètement établies en magnésie : celle-ci ne serait pas suffisamment résistante, et son retrait à la cuisson provoquerait la chute des voussoirs. La cuirasse du four est flanquée d'une pile en silice, de 25 centimètres d'épaisseur, qui supporte les sommiers de la voûte ; ces piles sont ensuite revêtues d'une enveloppe en magnésie qu'on peut entretenir facilement, puisqu'elle est voisine des portes. Il suffit d'éviter que le plan de séparation entre la magnésie et la silice ne se trouve porté à trop haute température, car alors les deux corps se combineraient trop facilement : à cet effet, on entretient constamment les costières de façon à conserver intacts les piliers en silice.

Dans certains fours, on remplace, par économie, la magnésie par la dolomie; mais alors la durée est moindre, car la dolomie résiste insuffisamment dans les régions qui ne peuvent pas être facilement réparées.

Assises de fer chromé. — Quand on emploie la magnésie et surtout la dolomie en contact avec la silice, une fusion tend à se produire à la surface de séparation, d'où un effondrement de la partie supérieure des maçonneries; les armatures du four courent grand risque d'être brûlées. On évite cet inconvénient en établissant une couche intermédiaire, de 12 à 15 centimètres d'épaisseur, de mor-

ceaux de fer chromé taillés, jointoyés au goudron avec des morceaux plus fins. Cette matière inattaquable par les laitiers acides ou basiques, très peu fusible, forme une séparation neutre parfaitement résistante.

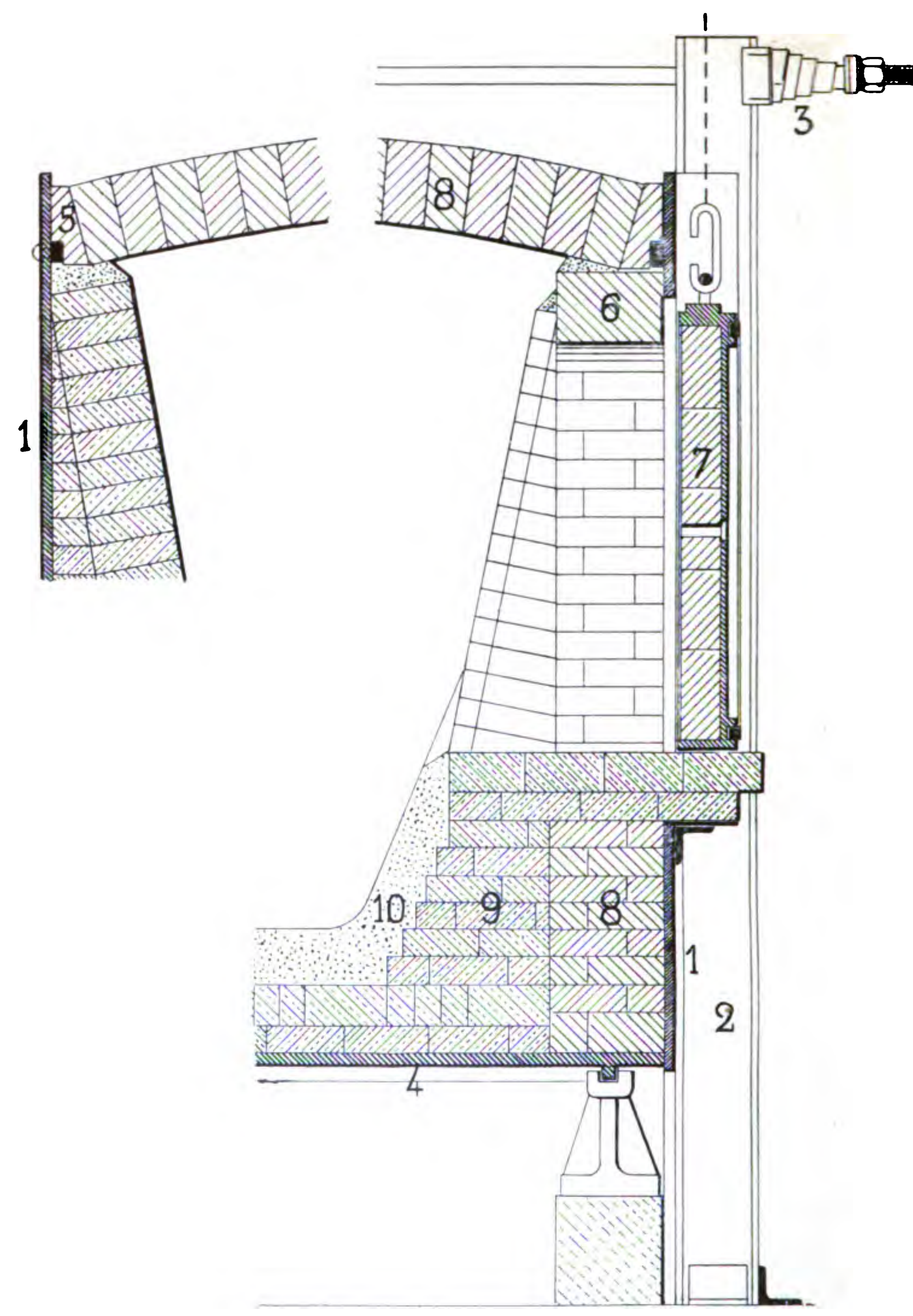
Les piédroits sont quelquefois construits tout entiers en fer chromé; mais cette matière est assez rapidement dissoute par le bain métallique, qui se durcit alors sensiblement : elle ne peut être employée que recouverte d'une couche basique protectrice de magnésie ou de dolomie.

Carneaux d'air et de gaz. — Les carneaux amenant l'air et le gaz, et parcourus à la sortie par les fumées, sont reliés aux chambres de leur groupe de diverses manières : les dispositions sont prises pour augmenter autant que possible la durée des campagnes, la facilité des réparations, et donner un bon chauffage.

Il faut à cet effet mélanger parfaitement l'air et le gaz, et augmenter leur surface de contact ; on divise dans ce but les conduits en plusieurs branches alternées, étroites, plates et de grande largeur, produisant des jets qui se répandent en nappes. Deux dispositions principales sont employées : carneaux parallèles, débouchant aux têtes du four sur un même plan horizontal, ou carneaux superposés ; cette dernière manière tend actuellement à prévaloir.

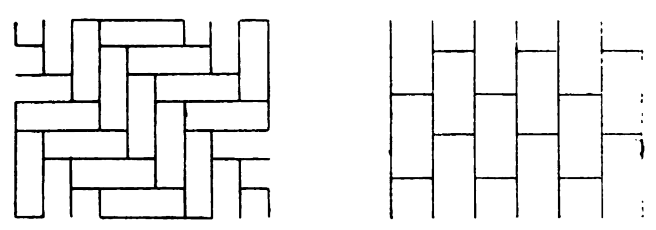
On évite de brûler la voûte et les parois en abaissant le point de combustion vers la sole, en le ramenant autant que possible au centre du four ; on incline donc les carneaux sur l'horizontale, pour faire plonger l'air et le gaz; simultanément on évite que la crasse ne soit entraînée par les fumées jusque dans les chambres.

Carneaux parallèles. — Les carneaux parallèles sont disposés dans deux gaines en maçonnerie et séparés les uns des autres par des cloisons de 22 à 30 centimètres d'épaisseur ; il y en a toujours au moins 4 et généralement 5, pour multiplier les contacts ; leur section est carrée ou souvent plus haute que large, ce qui diminue la portée de la voûte qui les recouvre, et augmente la solidité. On place les carneaux à air vers l'extérieur, près des portes et du mur d'arrière ; s'il y a cinq carneaux, on en ménage un troisième au milieu ; avec quatre seulement, les deux du milieu étant réservés au gaz, la combustion se fait moins facilement dans l'axe du four. En mettant le gaz de chaque côté, la flamme aurait tendance à refouler par les portes, même au voisinage des chambres montantes. Les carneaux à



Piédroits et voûte d'un four basique.

1. Plaque de blindage. — 2. Armature. — 3. Tirant à serrage automatique. — 4. Plaques de fonte supportant la sole. — 5. Voussure d'appui de la voûte. — 6. Voûte de la porte. — 7. Porte. — 8. Briques de silice. — 9. Briques de magnésie. — 10. Dolomie.



Assises en briques des soles basiques.

air extérieurs doivent être légèrement convergents, car la largeur des culées est plus grande que celle du laboratoire ; on ramène ainsi la combustion vers le centre, en réalisant un mélange plus intime.

Avec des carneaux parallèles, on doit éviter la formation de remous à leur partie supérieure voisine de la voûte ; il y aurait en ce point combustion intense, destruction rapide du nez des carneaux et de la tête de voûte : celle-ci, plus élevée en largeur courante que le sommet des carneaux, se raccorde avec eux par un court berceau rampant. On reproche souvent aux carneaux parallèles de brûler les voûtes plus que les carneaux superposés : en effet, la combustion se produisant sur la surface du contact contre la voûte même, des dards peuvent se produire, qui rongent et brûlent dangereusement la brique. Il est possible d'éviter ce fâcheux résultat, en donnant aux carneaux une inclinaison suffisante, de 35° à 45°.

La construction des culasses comprend, pour des carneaux parallèles, des murs longitudinaux correspondant aux cloisons des carneaux. Chacun porte à son extrémité une armature, reliée aux suivantes par une poutrelle horizontale ; les deux murs extérieurs sont complètement blindés latéralement et leur blindage est fixé à celui du four ; les deux culasses sont en outre serrées l'une contre l'autre par des tirants passant au-dessus de la voûte, avec boulons de tension ou ressorts de traction. Le massif constituant la culasse est supporté par les murs extérieurs et par les poutrelles longitudinales qui soutiennent la sole ; quant aux cloisons intermédiaires, elles reposent en partie sur les voûtes des chambres ; mais, lors du chauffage, elles viennent par la dilatation comprimer les armatures et prendre appui sur elles. La partie inclinée des carneaux est portée par un treillis horizontal reliant les armatures des façades avant et arrière.

Chacun des carneaux est couvert par une voûtelette faite de cintres en fer plat garnis de briques posées côte à côte et jointoyées au coulis ; il est facile, pour les réparations, de les soulever au moyen de crochets et de les remplacer quand ils sont usés. Sur le mur

transversal extérieur de la culasse, en face des carneaux, on exécute plutôt une maçonnerie de remplissage qu'un mur continu ; particulièrement au coude produit par les cheminées surmontant les chambres avec les carneaux inclinés, on ménage une porte (briquetée après la construction, ou fermée simplement par quelques grosses briques) par laquelle on peut examiner l'état des carneaux et les réparer. On se trouve de là exactement dans leur prolongement, de sorte que l'on peut engager sur une palette les briques ou les mélanges nécessaires à leur réparation. Dans certains fours, on examine les carneaux journellement, ce qui, avec le remplacement opportun des clefs qui les recouvrent, augmente la durée des campagnes et permet d'atteindre 800 coulées.

Le nez même des carneaux, à proximité de la sole, repose sur des bâches ouvertes aux deux bouts et pleines d'eau, dont l'évaporation refroidit la paroi et retarde l'usure des cordons de la sole. Le mur de tête forme un talus avec empattement à la base, de mêmes dimensions que celui des piédroits longitudinaux.

Dans les fours acides, la construction est faite naturellement entièrement avec des briques de silice ; cette matière est de toute nécessité pour les voûtes, car elle gonfle à la chaleur.

Dans les fours basiques eux-mêmes on doit employer des voûtes de silice : la magnésie se contracte au feu, s'écaille plutôt qu'elle ne fond : elle produirait des fissures et des effondrements. Les piédroits de tête et les cloisons des carneaux sont formés d'un pilier en silice revêtu d'un rang de magnésie jusqu'au même niveau (et parfois jusqu'à un niveau plus élevé) que les piédroits du four. Le radier du canal à gaz est revêtu de magnésie presque jusqu'au sommet ; il suffit, au-dessus de la silice, d'un rang de briques de 16 centimètres, recouvert en outre de magnésie goudronnée damée à chaud. La dolomie s'emploie de la même façon, mais la couche doit en être plus épaisse, car elle attaquerait la silice au plan de joint.

Le mur arrière et les côtés des cheminées verticales sont quelquefois montés en magnésie, ou garnis d'un rang de briques de magnésie, depuis leur sommet jusqu'au niveau de la sole. La silice ne convient pas, car les entraînements de chaux, de scorie qui viendraient la frapper la rongeraient rapidement ; avec la magnésie, on observe plus souvent des garnissages qu'une corrosion, garnissages qu'il est aisé de faire tomber en cours de marche avec un crochet en fer.

Carneaux superposés. — Dans les systèmes de fours avec carneaux superposés, on place toujours le gaz à la partie inférieure, plongeant de 20° à 25° sur la sole. En raison de cette superposition, on dispose pour les carneaux d'une hauteur moindre ; on les fait donc plats et larges.

Les carneaux à gaz supportant la voûtelette de séparation des carneaux à air, il est nécessaire de les diviser en deux pour réduire la portée, et de prendre un point d'appui sur un pilier qui se prolonge en arrière par un mur séparant les deux conduits de gaz. Une voûte de grande portée tend non seulement à s'écrouler (ce qui arrive quelquefois, même avec la silice), mais encore s'use davantage et s'échancre sous l'influence de la flamme, lorsque la chambre correspondante devient descendante. Le pilier intermédiaire sert en outre d'entretoisement à la culasse et d'appui aux armatures.

Pour l'air, au contraire, la voûte supérieure des carneaux, qui fait suite à la voûte du laboratoire, est exposée à l'atmosphère ; elle n'a point tendance à s'user, aussi est-elle faite fréquemment d'un seul arc. Ainsi compris, le carneau à air protège mieux la voûte, car il laisse entre elle et la région la plus chaude du four un matelas d'air dont la couche inférieure seule est en combustion. Afin d'assurer un bon mélange entre l'air et le gaz, on donne au carneau d'air une direction oblique de 25 à 30° sur celle du gaz, de sorte que les deux jets viennent converger à la surface du bain vers le milieu de la sole.

Les cheminées verticales réunissant les rampants d'air et de gaz avec les chambres sont au nombre de quatre, de façon à prendre les gaz chauds aux deux extrémités de chaque chambre ; elles sont construites sur deux plans transversaux parallèles ou sur un seul plan. Dans le premier cas, les chambres à gaz sont à l'intérieur, voisines de l'axe du four ; les cheminées qui les prolongent sont coudées à angle droit et surmontées des rampants à air ; ceux-ci, disposés sur les chambres extérieures, enveloppent de toutes parts les carneaux à gaz, ce qui réduit les pertes par transmission. Le massif est complètement blindé, sauf à l'endroit des regards situés au niveau de la plate-forme et servant au nettoyage des carneaux. Ce dispositif présente l'inconvénient de ne permettre ni surveillance, ni réparations des montées de gaz, qui sont toujours les plus exposées ; en outre, le bloc compact formé par ces quatre conduits s'échauffe fortement et tend à s'user.

On préfère généralement ramener les quatre cheminées sur un

même plan, ce qui augmente, il est vrai, la largeur de la culasse du four, et la rend de même dimension que la longueur des chambres. Les carneaux de gaz sont au milieu, de part et d'autre du mur médian, peu convergents ou même parallèles. Ils surmontent directement les chambres elles-mêmes ; les entraînements de poussières, auxquels ils sont exposés en raison de leur position inférieure, tombent par les cheminées dans les chambres de sûreté, sans avoir à suivre un chemin contourné. Les quatre montées sont bâties au-dessus de la chambre extérieure, le mur de séparation des deux chambres formant la base du mur intérieur transversal de la culasse.

Il n'y a pas d'inconvénient à ce que l'air suive un conduit sinueux pour aboutir aux chambres intérieures. Les cheminées d'air sont placées latéralement et sont séparées des montées de gaz par des cloisons ; elles sont plus hautes que ces montées, et se raccordent au four par des rampants convergeant vers le centre de la sole, et plongeant sur les rampants à gaz.

Quelquefois les deux cheminées à air sont réunies dans la culasse par un canal horizontal s'étendant au-dessus des cheminées à gaz ; cette construction présente l'inconvénient d'envelopper les carneaux de gaz et ne permet pas de les ouvrir au sommet pour les ramoner verticalement; on perd ainsi un des avantages des cheminées établies sur un même plan. Il est préférable de conserver aux conduits d'air leur indépendance au voisinage des cheminées, et de les réunir seulement en avant du nez.

Au niveau des coudes avec les cheminées, les quatre rampants sont munis en arrière de regards clos par des briques qu'on peut facilement enlever pour faire des réparations ; ces portes permettent d'examiner les carneaux sur toute leur longueur et d'en réparer la sole avec des palettes : il est ainsi possible de remettre des briques et du mortier de silice jusqu'au nez même des brûleurs.

La partie la plus fragile des carneaux superposés est la cloison voûtée qui sépare l'air et le gaz. Elle se détruit plus rapidement qu'un mur vertical, car elle tend à s'effondrer; en outre, quand elle coule, les gouttelettes siliceuses tombent sur la sole du carneau de gaz et la rongent si elle est basique. Aussi fait-on cette voûte suffisamment épaisse, afin d'en augmenter la durée et d'éloigner davantage la combustion du nez des brûleurs, quitte à donner ensuite une plus grande inclinaison à l'arrivée d'air pour la faire converger au centre de la sole. On ne doit pas employer une épaisseur

moindre que 30 centimètres, obtenue par deux ou trois rouleaux de briques complètement indépendants, qui se soutiennent mutuellement.

Comme malgré les précautions le nez des brûleurs s'use et ramène le point de combustion en arrière, on donne à la cloison une grande longueur, ce qu'il est facile de faire quand les cheminées sont sur une même section transversale, car les rampants à air et à gaz sont alors aussi longs l'un que l'autre. On peut ainsi user le four jusqu'à ce que le nez soit reculé au voisinage des cheminées ; cependant, à mesure que rétrograde le point d'inflammation, l'intensité du chauffage diminue, de sorte qu'on doit souvent arrêter le four avant d'y être obligé par l'usure, pour une raison d'économie de combustible. Certains fours présentent une cloison de plus de 2 mètres, ce qui permet une usure de 1^{m},70 avant la mise hors service ; 0^{m},80 est la limite de longueur inférieure au-dessous de laquelle on ne doit pas descendre. On refroidit parfois la partie arrière de la cloison, en la faisant traverser par un courant d'air et de vapeur, dont l'action est très efficace; mais la dépense de vapeur est loin d'être négligeable.

L'arrière de la culasse comprend cinq piliers verticaux, encadrant les quatre cheminées. Les deux extrêmes et la cloison médiane sont recouverts d'armatures et réunis par des tirants à leurs homologues de l'autre culasse ; les deux piliers intermédiaires portent également des armatures, mais ne sont pas munis de tirants, car, en raison de la direction oblique des carneaux à air, ils ne s'appuient pas sur un massif suffisamment compact.

La partie médiane du rampant repose sur des tablettes fixées aux armatures du four; le nez est appuyé contre les cordons de la sole sur une bâche en fonte remplie d'eau, dont l'évaporation rafraîchit la maçonnerie.

Quand on dispose les quatre cheminées sur un même plan, le massif est plus léger et plus facile à armer sur chaque paroi au-dessus des rampants ; aucun travail ne se produit dans la maçonnerie, comme on peut le craindre avec quatre cheminées en carré ; en outre les fissures ne tendent pas à établir de communication entre l'air et le gaz, et ne s'aggravent pas d'elles-mêmes.

La construction, pour les fours acides, se fait en silice; les piédroits et les murs verticaux sont montés par assises horizontales en briques de dimensions ordinaires hourdées au coulis ; on ménage des baies à tous les endroits où il peut être nécessaire d'examiner et de réparer les carneaux. Ces ouvertures sont bouchées avec des

briques posées à sec et garnies à l'extérieur d'une couche de mortier ; quand elles doivent être ouvertes fréquemment, on emploie des briques de grosses dimensions, portant à l'arrière une poignée scellée qui permet de les retirer facilement ; ces briques sont faites avec un mélange argileux et sont ainsi moins fragiles que la silice pure.

La tête des brûleurs, à l'intérieur du four, est légèrement en talus ; les deux arrivées de gaz sont séparées par un mur médian qui forme un promontoire en avant de la sole, avec une paroi fortement en talus. Le radier des carneaux de gaz est damé de la même manière que la sole et se raccorde avec elle.

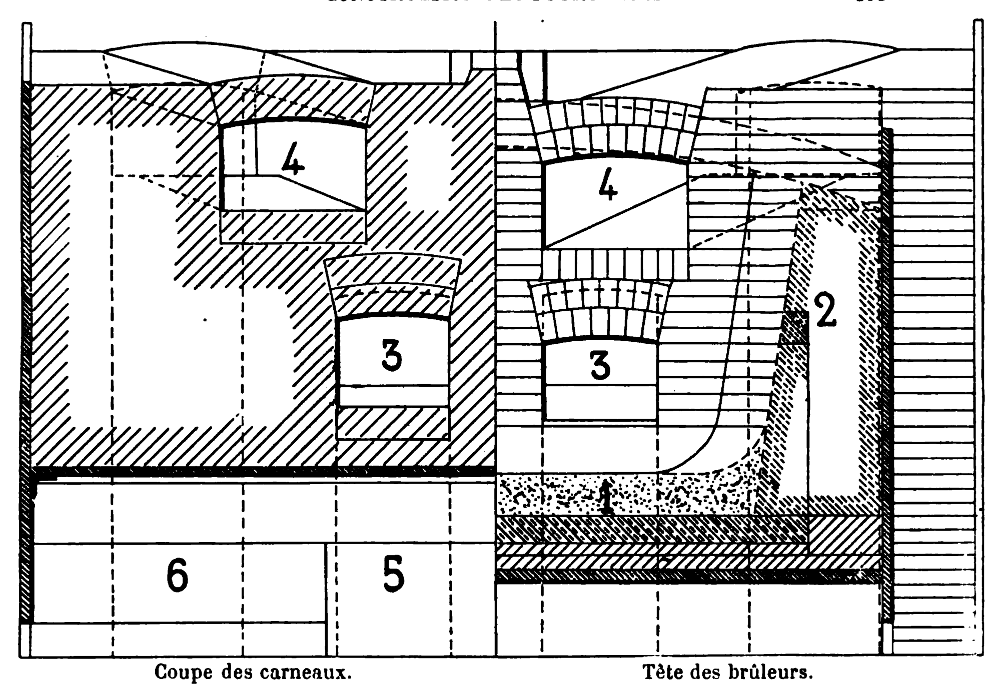
Dans les fours basiques, on fait en dolomie ou en magnésie tout ce qui peut éventuellement être atteint par le bain, c'est-à-dire qu'on revêt la paroi de silice d'un garnissage basique jusqu'au niveau des cintres des carneaux à gaz. Le radier même de ces carneaux est garni d'un rang de magnésie ou de dolomie jusque vers son sommet. La paroi arrière de la cheminée des carneaux de gaz est faite aussi en magnésie, quand on peut craindre des entraînements de poussières.

Voûte du laboratoire. — La voûte qui couvre le laboratoire est destinée à conserver la chaleur et à la réfléchir sur la sole ; ni le métal, ni la scorie ne pouvant l'atteindre, la composition chimique des matériaux réfractaires qui la constituent est indifférente. On la fait toujours en briques de silice très pure, dites briques de Dinas. La voûte s'étend transversalement de l'une à l'autre des têtes du four, son axe étant longitudinal ; la retombée des sommiers est reportée sur les armatures des deux faces. Elle est généralement faite d'un seul berceau, bien que quelquefois les extrémités se raccordent avec les culasses par un berceau rampant.

Dans les anciens fours, la voûte était fortement surbaissée dans l'axe du four, pour augmenter la réverbération ; mais on a reconnu qu'ainsi construite elle se brûlait plus rapidement ; le surbaissement facilite en outre l'écroulement.

Le cintre est un arc à un seul rayon de courbure ; on lui donne comme flèche un dixième environ de sa portée. Comme les matériaux employés pour la construction des voûtes se dilatent sous l'influence de la chaleur, elles éprouvent sur leurs sommiers une forte compression qu'il est nécessaire de régler, sinon la courbure augmente fortement et les reins s'ouvrent.

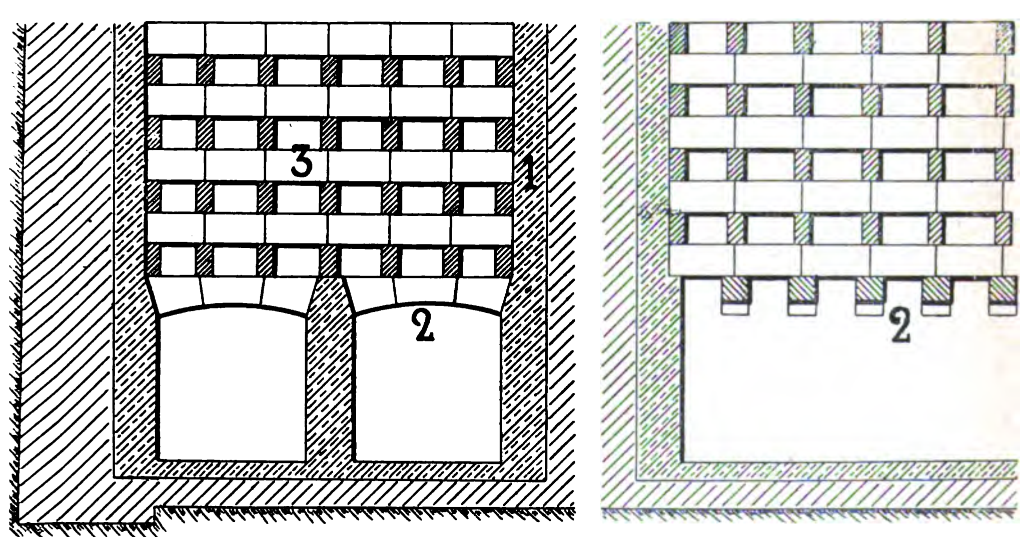
Les armatures des deux faces du four peuvent osciller sur leur



Coupe des carneaux. Tête des brûleurs.

Four Martin basique à carneaux superposés.

1. Sole. — 2. Piédroits. — 3. Carneau à gaz. — 4. Carneau à air. — 5. Cheminée à gaz. — 6. Cheminée à air.



Empilage des chambres de récupération.

1. Chemise réfractaire des chambres. — 2. Voûtelettes supportant l'empilage. — 3. Empilage de briques (220 × 110 × 55) en cheminées verticales.

base, et s'incliner légèrement de part et d'autre de la verticale, de façon à réduire la longueur de la corde du cintre ; ces armatures sont réunies par des tirants à boulons, munis de ressorts à lames ou à boudin ; leur flexion indique la tension qu'éprouve l'ouvrage, et la limite jusqu'à leur écrasement.

Comme d'ailleurs il est souvent nécessaire de réparer l'intérieur du four, piédroits et costières, sans refaire la voûte qui dure plus longtemps, on ne la fait pas reposer sur le mur d'arrière, ni surtout sur les cintres des portes. Les armatures présentent une nervure continue à hauteur de l'intrados, sur laquelle s'appuie le talon échancré d'une brique cunéiforme qui sert de sommier ; le poids et la poussée sont ainsi supportés par les armatures seules. Pour la construction de la voûte, on place les boulons de serrage à la moitié environ de leur course, de manière à avoir la corde de longueur minima ; lors du chauffage, la poussée augmentant graduellement, on desserre progressivement et uniformément les boulons de tension afin de conserver au cintre sa courbure primitive.

Longitudinalement la dilatation s'effectuerait de même, et, atteignant les tôles du four rigidement maintenues par les armatures, produirait dès le début de la campagne les déformations qu'on rencontre sur les vieilles voûtes, fortement bombées dans la région médiane. Aussi divise-t-on la longueur du berceau en plusieurs tronçons, de $2^m,50$ de longueur au plus, laissant entre eux un espace vide de 30 à 45 millimètres ; cet intervalle est bouché au-dessus de la voûte par un petit rouleau surmontant les deux portions et les recouvrant sans nuire à leur dilatation respective. Les deux bords des tronçons arrivent souvent à se rejoindre, malgré le jeu et malgré l'élasticité du hourdis de coulis dont la compression annule partiellement la dilatation.

La voûte a généralement 20 à 25 centimètres d'épaisseur et ne comprend qu'un seul rouleau. Elle ne peut durer qu'autant qu'elle n'est pas chauffée sur une grande épaisseur, car la chaleur parvient malgré tout à faire couler la brique, par suite des poussières et des projections métalliques qui l'atteignent et la rendent fusible. Une faible épaisseur favorise le refroidissement ; il n'en résulte pas une perte de chaleur sensible, en raison de la faible conductibilité des briques de Dinas. Une voûte de 220 millimètres s'use d'abord très rapidement jusqu'à 150 millimètres ; à ce moment, la quantité de chaleur absorbée équivaut sensiblement à celle qui est perdue par conductibilité et rayonnement, de sorte que l'usure s'arrête. Une

voûte ne périt que par suite d'une usure plus prononcée en un point donné et résultant d'un dard de flamme : l'inégalité des poussées produit une déformation qui provoque l'effondrement.

Les arrêts et réchauffages successifs nuisent beaucoup à la conservation des voûtes, malgré la précaution que l'on prend de tendre les boulons au moment du refroidissement, et de les relâcher lors du réchauffage ; la voûte monte, le cintre s'accuse en raison de l'usure toujours plus forte de l'intérieur : la différence de température entre l'intrados et l'extrados suffirait à expliquer la variation de courbure. Pendant le réchauffage, les régions les plus minces de l'arc tendent à se cintrer davantage, tandis que les parties épaisses se redressent, devenant même parfois concaves ; à ce moment, la voûte ne tient plus que par la poussée qu'elle exerce et la cohésion des matériaux, causes dont la diminution entraîne l'effondrement.

On emploie pour construire la voûte des briques trapézoïdales, en forme de voussoirs ; les assises sont parallèles à l'axe transversal du four, sauf les chaînes qui limitent les diverses fractions du berceau et qui sont composées d'un arceau de briques carrées à faces non parallèles. La retombée a lieu sur une brique en coin, reposant sur la nervure des armatures.

La construction s'opère sur un cintre en lattis jointif, par assises parallèles ; on commence à chaque extrémité, et l'on raccorde au milieu, ou de préférence à l'un des joints de dilatation. On fait un léger hourdis en coulis très clair, sans même y plonger complètement les briques : on asperge simplement la surface de l'assise précédente avec un balai, et on y cale la nouvelle assise ; radialement, on fait également les joints aussi faibles que possible. Aussi peut-on décintrer presque immédiatement, en abattant les chandelles qui supportent le cintrage, sans que la voûte paraisse même fléchir. Si cela se produisait, on la redresserait en serrant quelque peu les boulons, qu'à dessein on n'a pas amenés complètement à fin de course.

La durée d'une voûte est réduite par les coups de feu qu'elle peut subir, et par les refroidissements lors des mises hors feu ; elle peut atteindre 800 coulées, ce qui correspond à plusieurs mois de travail. Quand une région de faible dimension se trouve brûlée, on peut la réparer en cours de marche, sans laisser refroidir le four.

RÉCUPÉRATEURS

Établissement des récupérateurs. — Tous les fours à fondre l'acier présentent le système de chauffage inventé par F. Siemens, employé chaque fois que l'on doit obtenir industriellement des températures élevées.

Ce système consiste à chauffer préalablement les éléments de la combustion, de sorte que la chaleur dégagée par celle-ci permet d'atteindre une température supérieure à celle qu'on retirerait de l'emploi d'un combustible froid. La quantité de chaleur dégagée est invariable; l'élévation de la température des produits de la combustion reste donc la même; mais, la température initiale atteignant 900 à 1.000°, la température finale se trouve théorique, ment augmentée de 900°. Cependant, les phénomènes de dissociation interviennent puissamment pour réduire la température théorique, de sorte qu'en réalité on est loin d'atteindre le chiffre indiqué par le calcul.

Le chauffage du combustible et de l'air nécessaire à la combustion se fait en utilisant la chaleur des fumées du four, au moyen d'un intermédiaire, qui tantôt absorbe, tantôt restitue cette chaleur. Ce double rôle exige la présence de deux groupes de récupérateurs identiques, l'un recevant les fumées, l'autre traversé par l'air et le gaz. On place les récupérateurs immédiatement au voisinage du four pour éviter les pertes de chaleur; les fours sont donc symétriques par rapport à un axe, et traversés par le courant gazeux alternativement dans un sens et dans l'autre. Les matériaux entrant dans la construction des récupérateurs doivent présenter une capacité calorifique élevée, de façon à pouvoir, sous un faible poids, emmagasiner une quantité de chaleur suffisante. On a toujours eu recours aux briques réfractaires, alumineuses ou siliceuses, dont la capacité calorifique est à chaud 0,24, et qui résistent convenablement à l'action de l'oxygène à haute température.

Le poids de ces briques doit suffire à emmagasiner une quantité de chaleur assez importante pour que l'on ne soit pas obligé de faire de trop fréquentes inversions. Depuis le début de la mise au gaz ou à l'air d'un appareil jusqu'au moment où il change de rôle, sa température s'abaisse, ainsi que celle des gaz qui en

sortent; le poids des briques est réglé pour que la différence entre les températures initiale et finale ne dépasse pas 50°; à ce moment on procède à l'inversion, et l'on réchauffe l'appareil en y envoyant les fumées.

Entre deux inversions successives s'écoulent généralement 20 à 40 minutes; mais les récupérateurs doivent être calculés largement, pour que cette durée puisse être augmentée. Il faut remarquer en effet que, si le refroidissement des récupérateurs était trop considérable, la température du four baisserait rapidement; d'autre part, vers la fin d'une coulée, on évite une inversion, qui laisserait le four quelques instants sans gaz; les récupérateurs sont donc toujours plus puissants que ne l'exige la durée normale d'inversion. On peut les calculer d'après cette durée, mais il est préférable de prendre comme point de départ la quantité de gaz à chauffer, et d'en déduire le temps pendant lequel la température reste constante au sommet du récupérateur.

La transmission de la chaleur dans les récupérateurs est méthodique, puisque c'est sur la région la plus chauffée que les gaz arrivent en dernier lieu. Le chauffage peut, par suite, être tel que, pendant l'intervalle d'une inversion, la chambre descendante atteigne tout entière la température maxima; puis, lorsque l'extrémité du récupérateur est arrivée à cette température, la chambre est mise au gaz; à partir de ce moment elle se refroidit graduellement, en commençant par la base, jusqu'à ce que le sommet lui-même soit sur le point de se refroidir. Lorsque les récupérateurs sont assez vastes pour être ainsi conduits, il y a un avantage énorme quant à la régularité du chauffage et à la conservation des chambres, car les dilatations et contractions de la voûte qui les recouvre sont fortement réduites.

En réalité, les choses ne se passent pas complètement ainsi, à cause de la rapidité de la transmission, et l'on note sur des récupérateurs, même assez vastes, des différences sensibles du commencement à la fin de la mise au gaz.

La rapidité de la transmission est en effet l'une des qualités importantes que doit présenter un bon récupérateur; elle dépend de la nature des matériaux et de leur surface totale de développement. La nature des matériaux possède une double influence due tant à leur coefficient d'absorption qu'à leur conductibilité. On recherche des briques poreuses, dont la surface généralement rugueuse se prête bien à une absorption rapide; les briques dures, vernissées,

absorbent mal et sont lentes à s'échauffer. En raison de la conductibilité et de la rapidité avec laquelle doit se faire l'échange de chaleur, il est inutile de dépasser l'épaisseur de brique qui correspond à une transmission suffisamment efficace par les deux parois pendant l'intervalle de deux inversions. Les briques employées à cet effet n'ont pas plus de 6 centimètres d'épaisseur ; les dimensions normales : $24 \times 12 \times 6$, conviennent bien. Chaque brique pèse environ 3 kilogrammes, avec une densité de 1,75.

On les empile de façon à former des cheminées verticales, par rangées alternatives en files longitudinales et en files transversales. La disposition ancienne en chicanes, avec briques longues de section carrée ($6^{cm} \times 6^{cm}$), a été abandonnée : le passage du gaz était difficile et se bouchait aisément. La surface libre laissée aux gaz a une grande importance au point de vue du tirage et du chauffage ; la division dû courant gazeux en un grand nombre de filets, avec une notable étendue de frottement, cause une augmentation de résistance dans les chambres. Dès qu'une partie commence à se boucher, son efficacité diminue, et le gaz sort de l'appareil à une température moins élevée, puisque sa vitesse de circulation augmente dans la traversée des passages restés libres.

Le poids total des briques susceptible d'alimenter un four Martin convenablement et économiquement, en gaz et en air chauds, ne peut être exactement calculé; en supposant que l'on augmente la fréquence des inversions, le calcul conduirait à un poids de briques très faible. Il est généralement basé sur la quantité de chaleur horaire dégagée dans le four, ou, ce qui revient au même, sur la quantité de houille brûlée aux gazogènes. On sera dans de bonnes conditions en adoptant, pour chaque groupe de chambres, 40 à 60 kilogrammes de briques par kilogramme de houille consommée en une heure; l'emploi de houille d'excellente qualité réduit naturellement ce chiffre au minimum, puisque pour fournir la même quantité de chaleur elle donne un moindre poids de gaz.

Les récupérateurs sont groupés par deux à chacune des têtes du four. Ce sont deux chambres voûtées, recevant le gaz à leur partie inférieure et communiquant avec les carneaux du four par des rampants pris dans la voûte. La partie inférieure des empilages est disposée sur des voûtelettes transversales, ou sur de longues briques résistantes appuyées sur des murettes ; la première disposition est préférable, car elle laisse libre l'espace situé au-dessous des empilages et la répartition du gaz est plus uniforme.

C'est par le fond de la chambre que s'effectue la sortie des gaz vers l'appareil d'inversion; le carneau est prolongé sous la chambre par une cave assez vaste pour recueillir les poussières sans être trop rapidement obstruée ; on doit pouvoir y accéder, afin d'enlever ce qui tombe des chambres lors des nettoyages, ou pendant la marche par fusion et corrosion. La répartition des gaz se fait uniformément sur la section, si précisément cette chambre inférieure est assez volumineuse et propre.

Comme les gaz tendent toujours à s'élever de préférence au voisinage du carneau conduisant à l'appareil d'inversion, on augmente fréquemment la résistance en ce point au moyen de quelques rangées de briques d'empilage supplémentaires. On a même été jusqu'à partager transversalement chaque chambre en deux parties, correspondant à l'avant et à l'arrière du four; chacune est munie d'un registre garni de briques situé après la vanne d'inversion ; il en résulte une complication sans avantage notable (construction Schönwalder).

Par rapport au four, les chambres sont disposées de diverses manières. On les place généralement sous le laboratoire, mais formant néanmoins un massif indépendant, pour qu'elles puissent se dilater sans influencer la sole. Comme il n'est pas toujours possible de leur donner une grande hauteur en raison de la fouille à opérer, on doit les étendre latéralement de chaque côté du four, principalement sur la face de chargement, car en arrière elles gêneraient pour la coulée. On leur donne encore plus d'indépendance en les divisant en deux groupes distincts correspondant à chaque tête ; l'espace intermédiaire reçoit une galerie dans laquelle s'écoulent le métal et la scorie en cas de percée de la sole. Chacun des groupes possède ses armatures particulières.

Dans les fours américains à grande capacité, les récupérateurs sont généralement reportés en arrière, sous la plateforme de chargement. Les pertes de chaleur dues à l'augmentation de parcours des gaz sont insignifiantes ; la visite des chambres est facile, et, quand on a plusieurs fours à mettre en ligne, les distances d'axe en axe sont ainsi moins considérables. On a disposé aussi les récupérateurs aux quatre coins du four, semblables alors à des appareils Cooper de hauts-fourneaux (fours Batho).

Construction. — Chaque groupe de récupérateurs comporte une chambre à gaz et une chambre à air, qui ne sont pas nécessai-

rement égales. Si l'on calcule le rapport de leurs volumes d'après les poids d'air et de gaz qui les traversent, on trouve une différence sensible, surtout quand, les gazogènes étant voisins du four, le gaz y arrive encore chaud. Ce rapport varie pratiquement de 0,75 à 1,0 ; fréquemment on prend le dernier chiffre : si, d'une part, le poids d'air est supérieur à celui du gaz, il faut considérer, de l'autre, que les chambres ne chauffent pas toujours également, car la répartition des fumées à la sortie du four varie suivant la résistance que présentent les chambres ; les récupérateurs à gaz étant plus exposés à s'obstruer que les chambres à air, il est bon qu'ils soient, quand ils sont neufs, plus vastes que ne le demande le volume théorique. Au moyen des registres disposés sur les carneaux de fumée, il sera toujours possible de régler le passage des fumées dans chacune des chambres, et, par suite, la température de ces dernières.

Les opinions diffèrent quant à la température à laquelle il faut porter l'air et le gaz relativement l'un à l'autre. Au sommet, les chambres doivent atteindre le rouge cerise clair, soit 950 à 1.050° : elles sont assez chaudes lorsque le cuivre y fond. On préfère d'ordinaire des températures égales pour l'air et le gaz ; cependant, on risque moins avec de l'air surchauffé de brûler la voûte du four, surtout au début de la campagne, parce que, l'air gagnant les régions supérieures grâce à sa moindre densité, la combustion se produit au voisinage de la sole sur les matières à fondre. Si le gaz, au contraire, tend à s'élever, il produit des dards de flamme sur la voûte, et la fait couler.

On observe la température des chambres au moyen de regards ménagés dans les cloisons qui obturent les portes de nettoyage ; ces regards, formés d'une brique creuse (souvent une busette de coulée), sont fermés par une motte d'argile, car toute rentrée d'air causerait une perte de chaleur, surtout dans les chambres à gaz montantes.

Les chambres doivent pouvoir subir sans fatigue les différences de dilatation auxquelles elles sont soumises. Elles sont enfermées dans une gaine en maçonnerie non réfractaire ou faite avec des briques de second choix, maintenue elle-même par des armatures. Ces dernières sont des tirants horizontaux munis de boulons de serrage, reliant un réseau de poutrelles ou de rails hors d'usage. Fréquemment la chambre est complètement blindée par des plaques de fonte ou de tôle, qui annulent presque entièrement les fuites d'air ou de gaz, tout en augmentant la solidité.

La chambre elle-même est faite de briques de silice prenant appui sur l'enveloppe ; les voûtes sont ordinairement des arcs surbaissés, dont les reins sont moins sujets à se déformer que ceux des pleins cintres ; elles sont composées de deux rouleaux, de 35 centimètres environ d'épaisseur totale. La maçonnerie qui les recouvre ne fait pas partie du massif extérieur ; son seul but est de conserver leur forme et leur chaleur ; c'est plutôt un remplissage qu'une maçonnerie de blindage.

Dans ces voûtes sont ménagées les prises d'air et de gaz, généralement auprès d'une paroi verticale pour ne point affaiblir la clef. Ces prises sont multiples, et placées vers les extrémités, pour que la surface entière de la chambre reçoive le gaz uniformément. Elles sont prolongées par des cheminées, mais n'en supportent pas le poids, qui est reporté sur des poutrelles ou sur les massifs soutenant la sole. La voûte est en briques de silice de forme spéciale, hourdées au sable siliceux.

Les voûtelettes supportant les empilages sont elles-mêmes en briques très réfractaires, mais solides et résistant bien à l'écrasement. L'empilage est en briques réfractaires de bonne qualité, mais non en briques de silice, sauf la partie supérieure qui est plus exposée aux coups de feu et aux produits corrosifs entraînés. Ces briques alumineuses durent aisément six à huit mois ; elles se soudent peu à peu ; quand on doit les remplacer, elles sont entièrement calcinées et hors de service. La partie supérieure, sur 1 mètre environ, est faite en briques de silice de même qualité que les parois des chambres.

Chambres de sûreté. — Les empilages doivent leur usure moins à la température qu'à une fusion des briques provoquée par les poussières entraînées. Quand les carneaux des chambres à gaz sont disposés au-dessous des carneaux d'air, il y a naturellement plus d'entraînements dans les premiers que dans les autres. Lors des fortes charges, la scorie peut remonter suffisamment pour couler dans les chambres ; les produits métalliques oxydés qu'elle renferme toujours, la chaux qu'elle contient en marche basique, la rendent très rongeante pour les briques siliceuses et silico-argileuses.

Ces entraînements et chutes de matières se produisent toujours dans la voûte sous les prises de gaz ; on rend leurs effets moins dangereux, et on en retarde les conséquences en laissant à cette place dans les chambres un espace vide appelé chambre de sûreté ou fausse chambre, où s'accumulent tous les produits entraînés. Tant que cet

espace n'est pas rempli, la chambre reste indemne; lors des arrêts, il est facile de le débloquer avec une pince ou un pic. La capacité de ces fausses chambres varie suivant la quantité moyenne des matières entraînées, mais on ne risque rien à les prévoir très grandes; si on les a faites trop petites, on peut légèrement les augmenter en empiétant quelque peu sur l'espace réservé aux empilages.

La capacité des fausses chambres peut atteindre le cinquième de celle qui est réservée à l'empilage, ce qui permet de les laisser six mois sans nettoyage.

Dans certaines installations, la fausse chambre est complètement séparée des chambres à empilage, avec lesquelles elle communique par une ouverture. Une porte latérale murée permet de la nettoyer dès que le four est arrêté.

Dans les chambres où les entraînements sont faibles, dans les chambres à air particulièrement, on remplace les fausses chambres par des cuvettes établies au-dessus de l'empilage lui-même, et placées sous les prises de gaz de la voûte. La partie inférieure de l'empilage située au-dessous d'elles n'est pas rendue inactive, bien que l'échange de chaleur y soit moindre qu'en cas de circulation normale.

Au-dessus des chambres, on dispose souvent des chambres de dépôt de petites dimensions, sous les prises de gaz, dans les culasses du four; on peut les nettoyer en marche, en enlevant les deux briques qui les bouchent, mais elles sont insuffisantes à éviter l'encombrement des chambres d'empilage.

Prises de gaz. — Les prises de gaz sont faites radialement dans la voûte; les briques formant les parois longitudinales de l'ouverture sont elles-mêmes appareillées en cintre pour ne point créer de point faible en cet endroit délicat, ce qui entraînerait des déformations sensibles dans la voûte. Elles sont surmontées par des cheminées verticales ou inclinées aboutissant aux carneaux.

Les cheminées verticales sont préférables, car, lors des entraînements de poussières ou de crasse, la chute de ces matières se fait directement dans la chambre de sûreté. Les cheminées inclinées, au contraire, sont rongées, transpercées; la cheminée correspondant à la chambre la plus voisine du centre, étant fortement inclinée et longeant la voûte de la chambre extérieure, est très exposée aux avaries. Il y a là un danger d'autant plus sérieux que l'air et le gaz se mélangent alors à travers les joints des briques, avant qu'une percée se soit complètement déclarée; cette communication élève la tempé-

rature, et rend l'accident plus grave. Lorsque la voûte de la chambre est percée, il devient impossible de continuer à marcher ; tout juste peut-on achever la coulée : de ce côté, le gaz arrive en moindre quantité, puisqu'il est en partie brûlé, mais fort chaud, ce qui corrode les carneaux, les voûtes et les autels.

On peut reconnaître l'accident, invisible de l'extérieur, en débouchant les regards laissés dans les portes des chambres : le sommet de la voûte est très chaud, et les produits de la combustion, lumineux et blancs, flottent à la région supérieure. Il faut terminer la coulée en toute hâte, en laissant le gaz plus longtemps à l'autre tête, de manière que la chambre endommagée reste descendante aussi longtemps que possible.

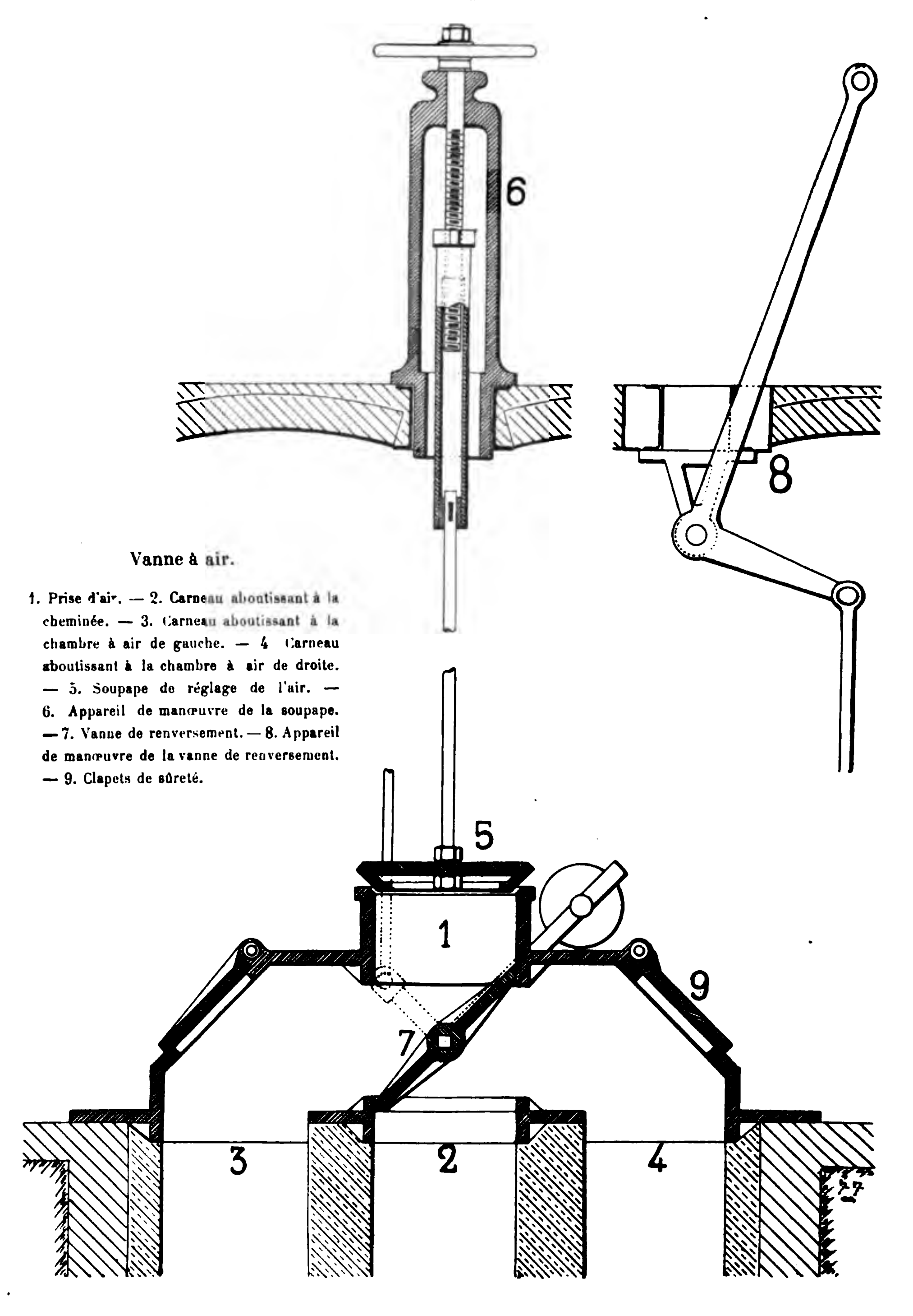
CONDUITES A GAZ

Le gaz produit aux gazogènes est amené, après séparation partielle des goudrons, jusqu'à une vanne de distribution. Le principe des récupérateurs consiste en un changement de direction du courant gazeux à travers deux parties symétriques du four, l'une étant reliée aux prises de gaz et d'air, l'autre aboutissant à la cheminée.

Le système d'inversion a pour objet de mettre en communication chacune des parties du four, en particulier les chambres de récupération, alternativement avec les prises de gaz et avec la cheminée ; il comporte en outre des appareils permettant le réglage des proportions d'air et de gaz, et celui du tirage de la cheminée ; ce dernier est de toute importance pour les gazogènes non soufflés, parce que de ce tirage dépendent directement la conduite et la bonne marche du four.

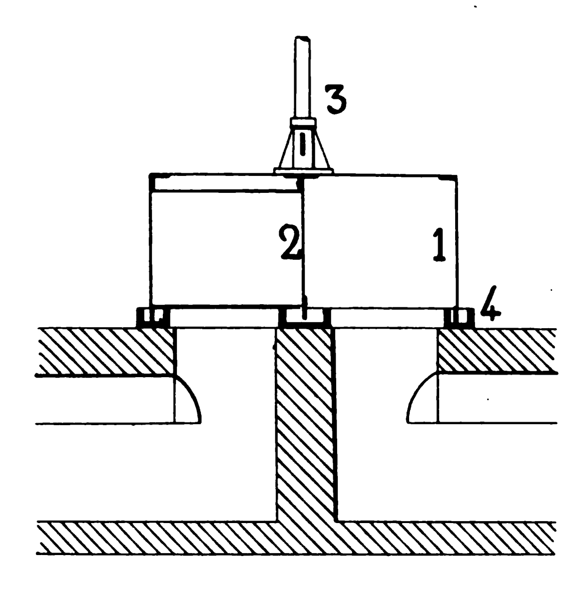
L'appareil d'inversion des gaz doit pouvoir fonctionner à haute température sans avaries, surtout quand les gazogènes sont très voisins du four ; à la sortie des récupérateurs, les fumées contribuent encore à le détériorer. L'appareil destiné à l'air est toujours refroidi d'un côté par l'air frais, et par suite moins exposé aux dégradations.

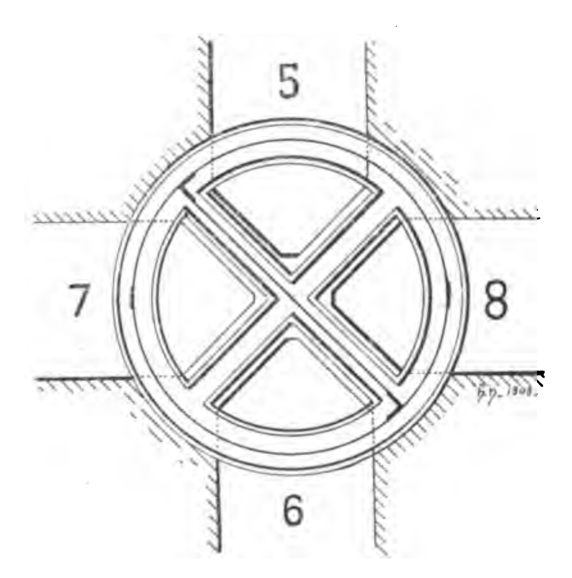
Vannes à air. — On emploie généralement pour l'air une caisse en croix à quatre branches disposées verticalement, dans la partie centrale de laquelle une vanne tourne de 45° à droite et à gauche, mettant les



Vanne à air.

1. Prise d'air. — 2. Carneau aboutissant à la cheminée. — 3. Carneau aboutissant à la chambre à air de gauche. — 4. Carneau aboutissant à la chambre à air de droite. — 5. Soupape de réglage de l'air. — 6. Appareil de manœuvre de la soupape. — 7. Vanne de renversement. — 8. Appareil de manœuvre de la vanne de renversement. — 9. Clapets de sûreté.





Cloche à gaz.

1. Cloche en tôle. — 2. Cloison. — 3. Attache de la tige de manœuvre. — 4. Gouttière. — 5. Galerie d'arrivée du gaz. - 6. Galerie de fumées. — 7. Carneau de la chambre à gaz gauche (descendante). — 8. Carneau de la chambre à gaz droite (montante).

branches en communication deux à deux. Ces appareils sont en fonte, posés sur une maçonnerie, et munis de regards permettant les nettoyages. Le joint de la vanne se fait de lui-même fonte sur fonte; si un peu d'air passe à la cheminée, il n'en résulte pas une diminution importante du tirage. Comme d'ailleurs ces pièces sont facilement accessibles, on peut toujours leur assurer une étanchéité suffisante.

La vanne de réglage de l'air, surmontant la prise d'air, est une soupape conique, dont on règle l'élévation au-dessus du siège; en diminuant l'espace libre, on restreint le débit de l'orifice sous la dépression produite dans le four par le tirage de la cheminée.

Sur le carneau de fumées faisant suite à l'appareil d'inversion, se trouve un registre vertical en fonte, permettant de régler le tirage et de répartir à volonté les fumées entre les chambres à air et les chambres à gaz. Cette dernière faculté est très appréciable quand le four est vieux, car les chambres à gaz sont partiellement obstruées, et le tirage tend à s'exercer davantage par les chambres à air.

Vannes à gaz. — Le même appareil, employé pour le gaz, est exposé sur ses deux faces à une température élevée, et mis rapidement hors de service par suite du gondolement des voiles en fonte qui forment le disque. Les faces n'étant plus planes, d'importantes fuites de gaz se produisent et apparaissent au sommet de la cheminée sous forme d'une fumée jaune ou grise, alors qu'une bonne marche ne doit dégager aucune fumée apparente.

On emploie quelquefois un appareil en fonte basé sur le même principe que les tiroirs de distribution à coquille pour cylindres de machines à vapeur. La manœuvre de la coquille se fait de l'extérieur, au moyen d'axes traversant la boîte; la coquille est accrochée à des béquilles, qui par leurs oscillations la soulèvent, la déplacent, puis la font reposer par son poids à la place voulue. Cette disposition est meilleure que celle de l'appareil d'inversion d'air, mais donne encore des fuites, à moins que les bords de la coquille ne soient munis d'un joint hydraulique.

Les cloches à joint hydraulique sont les appareils les plus fréquemment employés. Elles ont le mérite d'être simples comme construction et fonctionnement; toutes les parties en sont visibles et elles donnent rarement lieu à des accidents. Si une explosion se produit, la cloche, étant simplement posée sur les carneaux, est soulevée, rejetée de côté, et permet l'expansion des gaz sans rupture des conduites.

La cloche à joint hydraulique est divisée par une cloison diamé-

trale qui met les quatre carneaux en communication deux à deux. Ces carneaux sont disposés chacun suivant un quadrant; ils forment les orifices des conduits des deux chambres à gaz, droite et gauche, de l'arrivée de gaz venant de la vanne de réglage, et enfin de la sortie des fumées des chambres à gaz, réunie à la cheminée.

Ces carneaux sont opposés deux à deux; la cloison, étant placée dans deux positions rectangulaires, met en communication alternativement l'une et l'autre des chambres avec l'arrivée de gaz ou la cheminée.

Le joint de la partie mobile est assuré par une cuvette à eau composée d'un anneau et d'une croix : elle borde d'ailleurs les parois des quatre conduits. La manœuvre consiste en un soulèvement qui élève la cloison au-dessus de sa cuvette, puis d'une rotation de 90°; il faut, pour que l'étanchéité soit bien assurée pendant cette manœuvre, que le bord de la cloison plonge moins profondément que celui de la circonférence de la cloche, de telle manière qu'elle puisse passer au-dessus de la cuvette en croix sans que la partie circulaire cesse d'être immergée. L'eau du joint est amenée goutte à goutte par un petit robinet, de façon à compenser l'évaporation. On se sert aussi de goudron dont l'alimentation n'a pas besoin d'être continue; cette matière ne cause pas d'entraînements de vapeur d'eau, dont la dissociation abaisse la température du four.

La quantité de gaz arrivant au four est réglée par une vanne précédant la cloche, et composée d'une soupape dont on éloigne plus ou moins les bords au-dessus de son siège.

Sur le canal des fumées se trouve également un registre; les deux carneaux de fumée se réunissent ensuite à la cheminée.

La cloche permet d'isoler le four par rapport aux gazogènes, et de mettre le gaz directement à la cheminée : il suffit de disposer la cloison à 45° sur sa rainure, de sorte que le four est lui-même en court-circuit, et que le gaz peut passer directement à la cheminée en contournant la cloison de la cloche. C'est un avantage pour la mise du gaz au four et son allumage, car, remplissant ainsi complètement la conduite de gaz avant de l'envoyer au four, on n'a pas à redouter une inflammation brusque.

Lorsqu'on fait l'inversion de la circulation des gaz, il se produit précisément un court-circuit à la cheminée, pendant lequel une partie du gaz s'échappe sans être utilisé; on l'aperçoit nettement sous forme de fumées noires ou jaunâtres, alors qu'en temps ordinaire la cheminée ne laisse échapper aucune fumée apparente. En outre, le

gaz contenu dans la chambre montante (qui va devenir descendante) revient aussi à la cheminée, et se trouve perdu.

On diminue sensiblement cette perte en fermant la vanne à gaz avant d'inverser, et en l'ouvrant ensuite à la même hauteur. Ce mouvement peut être effectué mécaniquement : on relie par des chaînes les soupapes de réglage du gaz et de l'air et le levier d'inversion, de manière que, tant que ce levier n'est pas à l'une de ses deux positions finales, les clapets à gaz et à air soient fermés. Les dispositions de ces connexions, toujours très simples, varient avec les divers systèmes de fours.

La mise en court-circuit peut être évitée en remplaçant la cloche par des vannes tournantes : ce sont des robinets formant cloison sur l'arrivée de gaz et les chambres tant que le mouvement n'est pas effectué. Telle est la vanne Fischer. Ces appareils économisent le gaz, mais ne présentent pas l'élasticité des cloches à commande automatique; ils ne permettent pas l'envoi du gaz à la cheminée et ne peuvent pas servir de clapets de sûreté en cas d'explosion dans les galeries.

Cheminée. — La bonne marche et la durée du four dépendent beaucoup du tirage de la cheminée. S'il est suffisant, la combustion est plus rapide, les pertes par transmission sont moindres pour une quantité donnée de gaz brûlé : par suite, économie et augmentation de production.

Le tirage est réglé par des registres placés après les appareils d'inversion d'air et de gaz. Il vaut mieux en avoir sur tous les deux, parce qu'ainsi, de même que l'on règle les proportions d'air et de gaz arrivant au four, on règle aussi la répartition des fumées dans les chambres, qu'on chauffe au degré voulu ; or cette répartition varie pendant la durée d'une campagne, car les chambres s'obstruent peu à peu, et inégalement.

Quand les gazogènes sont soufflés, il est facile de conserver longtemps le tirage voulu, bien qu'on n'ait pas d'action sur l'appel d'air : on facilite l'appel d'air au four en augmentant la pression du gaz tout en diminuant l'ouverture de la vanne à gaz, de sorte qu'on peut ouvrir en grand l'admission d'air.

On fait quelquefois, pour augmenter le tirage, une injection de vapeur dans la cheminée, mais elle ne produit d'effet que si elle est disposée près du sommet ; à la base, l'action est beaucoup moindre, parce que la colonne de fumées, trop élevée, est difficile à mettre en

mouvement : le souffleur ne produit que des remous sans appel sensible. On augmente de même l'aspiration de la cheminée en conservant toute leur chaleur aux gaz qui s'y échappent, c'est-à-dire en faisant boucher toutes les rentrées d'air.

La hauteur des cheminées varie avec les régions et leurs vents dominants; elle est d'au moins 25 mètres; la section à la base est de $0^{m^2},500$ pour 1.000 kilogrammes de houille consommés par heure, ce qui correspond pour les gaz à une vitesse de 3 mètres à $3^m,50$ par seconde. Dans les pays où les vents sont violents, il est bon de surmonter les cheminées d'un chapeau ou d'une croix verticale en tôle, pour éviter que les rafales, en s'y engouffrant, fassent refluer les fumées sur le four. Ces cheminées ont rarement besoin d'être nettoyées, puisque les produits qui les traversent sont déjà complètement brûlés. Dans une batterie de fours, il est indispensable que chacun d'eux ait sa cheminée propre, pour qu'on puisse en régler le tirage sans influencer celui des fours voisins.

Les gaz sortant des récupérateurs à une assez faible température, 450° au maximum, il est inutile que la cheminée soit garnie d'une chemise réfractaire sur une grande hauteur : 5 à 6 mètres suffisent, le reste étant en briques rouges dures. Les cheminées en tôle sont garnies d'un rouleau de briques sur toute leur hauteur, sinon elles sont très sujettes aux variations de température, et perdent par refroidissement une notable partie du tirage que peut donner la température des gaz au pied de la cheminée.

CONFECTION DES SOLES

La confection des soles acides est relativement facile, parce que les matériaux qui les composent sont inattaquables par l'humidité et peuvent se conserver indéfiniment; il n'en est pas de même pour la magnésie, ni surtout pour la dolomie.

Les soles sont établies sur les assises briquetées qui recouvrent les dallages en fonte. On fait au moyen d'un pisé une surface fortement concave, capable de tenir la capacité pour laquelle est construit le four depuis le fond jusqu'au niveau du seuil des portes; la paroi se raccorde avec celle des piédroits et les angles sont arrondis. Transversalement, on donne une légère pente de 5 à 8 0/0 vers le trou de coulée depuis les portes du four et les arrivées de gaz,

pour que la vidange, rapide et complète, ne laisse point de flaques de métal qui nuiraient aux réparations de la sole. On fait avec les piédroits un raccordement très incliné, de manière à leur donner une large assise, et à permettre une notable usure des cordons sans craindre l'affaissement des murs.

Soles acides. — Les soles acides sont établies sur une double rangée de briques recouvrant les plaques de fonte qui forment la cuirasse de la sole. Elles sont en matériaux siliceux, quartz pur ou sable siliceux très riche, agglomérés à froid par de l'argile, ou par ramollissement à la chaleur.

Les soles agglomérées à l'argile sont composées de quartz très blanc, concassé en morceaux réguliers de 5 millimètres environ, et tamisé; on ne leur ajoute en fragments plus fins qu'une quantité insuffisante à combler les vides : de cette façon, la sole conserve une certaine porosité qui lui donne de l'élasticité et lui assure une plus longue durée. La très faible proportion d'argile réfractaire, 3 à 5 0/0, ne constitue pas un mélange assez fusible pour être attaqué par le métal ni la scorie. Il est toutefois de toute importance de ne prendre que du quartz très pur et non mélangé de feldspath, dont les éléments alcalins joints à l'argile donneraient un laitier trop fusible.

Le mélange des grains de quartz de différentes grosseurs et de l'argile est fait à la pelle, et maintenu humide pendant quelques jours afin d'acquérir plus de plasticité; il est étendu sur une aire, et marché avec des sabots de bois bien propres; sa consistance est épaisse, parce qu'il contient le minimum d'eau nécessaire à lui communiquer une légère cohésion. On l'étend sur la sole de briques par couches minces de 4 à 5 centimètres; on le dame fortement avec des masses en bois et des palettes de fonte chauffées, auxquelles l'argile n'adhère pas. On pilonne jusqu'à refus, ce qui fait légèrement suinter l'eau; la couche suivante est ensuite étendue et damée de la même façon. On obtient ainsi, en 5 ou 6 couches, une épaisseur de 20 à 25 centimètres au milieu, qui s'élève vers les piédroits et vers les extrémités du four.

Cette sole est alors lentement séchée au moyen d'un foyer extérieur en même temps que le four, afin d'être entièrement privée d'eau au moment de la cuisson; on la chauffe ensuite doucement au bois flambant, sapin ou bouleau, puis on y met le gaz; la cuisson complète demande quatre-vingts à cent heures de plein feu. Le séchage lent est indispensable pour chasser uniformément toute l'eau,

sans que la vapeur acquière une tension suffisante pour soulever les couches; aussi les soles poreuses sont-elles plus faciles à cuire que les autres; c'est leur principal avantage. La cuisson à grand feu produit un gonflement des matériaux, surtout à la surface qui se glace, se soude, devient brillante et très claire, réverbère même la lumière de la flamme comme une plaque de métal poli. Si, en certains points, ce glaçage ne se manifeste pas, c'est que des soulèvements se sont produits : on les répare en nettoyant la partie endommagée, et en y tassant avec le dos de la pelle du quartz qui se fritte et se soude aux parois.

Les soles cuites en couches minces présentent plus de sécurité que les soles précédentes, parce qu'en cas depercée d'une couche, les sous-jacentes ne sont pas endommagées. On commence par faire à froid une couche fortement pilonnée, de 5 centimètres d'épaisseur aux points les plus faibles, ayant la forme de la cuvette; on la sèche lentement, puis le four est mis à feu. Au bout de vingt-quatre heures de grand feu, quand la surface est glacée, on continue à recharger la sole par couches successives.

Le quartz utilisé pour ce travail est étonné avant l'emploi; cette opération le fragmente en grains de 3 à 8 millimètres qu'on tamise. On en répand avec la palette une couche de 4 à 5 centimètres qu'on égalise et qu'on dame fortement avec le dos de la pelle; cette couche est mise en place sans aucun agglomérant, aussi peut-on prendre comme composition du quartz argileux non feldspathique, des sables un peu alumineux. On donne un coup de feu pour glacer, et les matériaux ainsi répandus s'agglomèrent sans fondre, se frittent, tout en conservant à l'intérieur une grande porosité; la nouvelle couche se soude à la couche inférieure, dont la surface était collante, puis se vernit de la même façon.

On procède ainsi jusqu'à ce que l'on atteigne 30 à 35 centimètres d'épaisseur. La liaison des couches entre elles leur procure une grande résistance : si l'une vient à céder brusquement, le métal rencontre au-dessous une surface aussi résistante que la première, et ne peut pas la traverser.

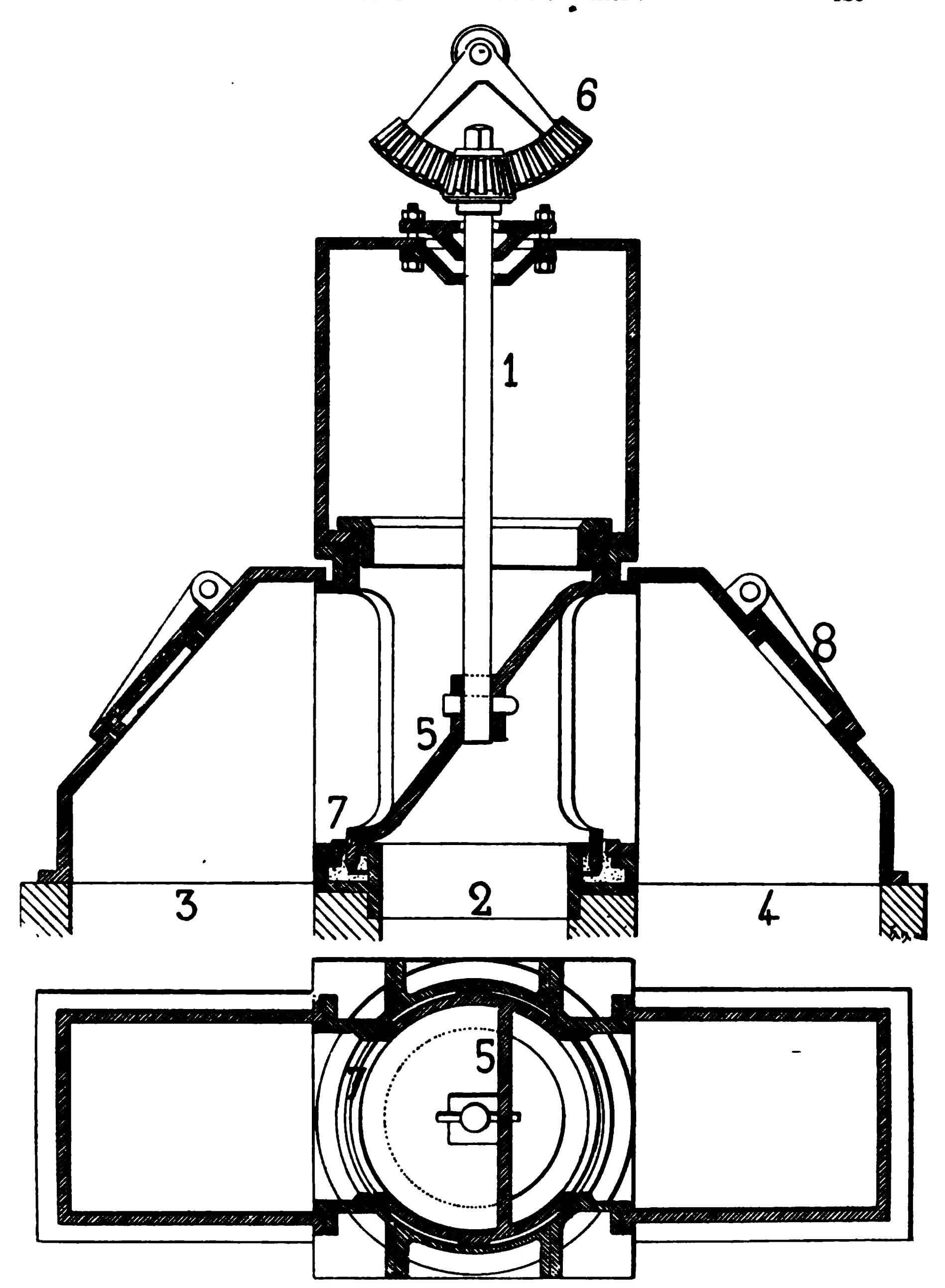
Soles basiques. — Les soles basiques se font en magnésie ou en dolomie. Le fer chromé, employé depuis peu de temps, présente l'avantage de résister également aux scories acides ou basiques, et même au métal lorsqu'il est neuf; mais on le protège toujours par une couche de dolomie ou de chaux.

Les plaques de fond de la cuvette sont toujours revêtues d'une rangée simple ou double de briques de magnésie; on emploiera par exemple deux rangées de briques à plat, à joints croisés, ou bien une rangée de briques de champ. Ainsi qu'il a été dit, les briques sont posées sur les dalles bien balayées sans aucun ciment; elles sont calées extérieurement, pour former une aire immuable à la surface de laquelle on répand de la magnésie finement moulue, légèrement humectée de goudron. On frotte cette couche avec une brique plate afin d'introduire la magnésie dans les joints, puis on pose la seconde couche de la même façon : la première a été suffisamment polie pour que l'autre y pose sans aucune interposition de magnésie. Une assise de champ se construit d'après les mêmes principes.

Les soles en magnésie se font à froid et se dament complètement avant cuisson. Sur la dernière assise de briques, on établit tout d'abord un gabarit de la cuvette, pour que les couches soient toutes parallèles à la couche superficielle; de cette manière la corrosion du bain n'entame qu'une seule couche. La magnésie employée pour cette opération, ainsi d'ailleurs que pour la confection de la sole entière, est finement moulue et légèrement goudronnée; la proportion de goudron est assez faible pour que l'agglomération n'ait pas lieu à froid lorsqu'on serre le mélange à la main. Elle est comprimée au moyen de dames en fer légèrement chauffées.

On procède à ce travail par couches successives de 4 à 5 centimètres; chacune a ses bords relevés en cuvette et se raccorde avec le talus des piédroits, de sorte que l'usure des cordons ne dégrade pas la sole profondément; on soigne tout particulièrement la jonction des couches supérieures avec la sole des carneaux à gaz. Une grande propreté et l'absence d'humidité sont nécessaires pour agglomérer les couches entre elles. On fait ainsi 4 ou 5 couches de 5 centimètres, de sorte qu'avec la brique l'épaisseur totale de la sole atteint au centre 40 à 45 centimètres.

Après séchage préalable du four au moyen d'un petit foyer, on cuit la sole avec un feu de bois bien flambant, qu'on entretient sans excès d'air; le tirage s'établit par les portes du four légèrement soulevées et gagne la cheminée en passant alternativement par l'une ou l'autre des têtes. Trop d'air brûlerait complètement le goudron et laisserait la magnésie pulvérulente sans agglomération, car la température est insuffisante à saisir la surface. Lorsqu'on met le gaz, les cendres du bois, assez fusibles, forment un vernis sur la magnésie, de sorte que le goudron intérieur, privé d'air, ne peut brûler et se



Vanne à gaz. — Pœtter, à Dortmund.

1. Conduite de gaz. — 2. Carneau aboutissant à la cheminée. — 3. Carneau aboutissant à la chambre à gaz de gauche. — 4. Carneau aboutissant à la chambre à gaz de droite. — 5. Diaphragme rotatif constituant la vanne de renversement. — 6. Pignon et arc denté commandant la manœuvre du diaphragme par rotation de 180°. — 7. Joint de sable. — 8. Clapets de sûreté.

transforme en graphite, en même temps que le glaçage s'opère à la surface. Afin de faciliter ce frittage, on répand sur la sole une couche de dolomie en poussière, qui se ramollit et donne une surface bien unie; la scorie Martin finement pulvérisée produit le même effet.

Ces soles en magnésie sont coûteuses, tout d'abord par leur construction, mais surtout par leur entretien qui nécessite des réparations en magnésie. La dolomie, employée pour réparer la magnésie, n'y adhère pas, et tend à se soulever; probablement se produisent des différences de retrait.

Les soles en dolomie présentent autant de sécurité que les précédentes, et leur entretien est moins onéreux. La dolomie doit être très fortement frittée, pour ne plus présenter de retrait par la cuisson; elle n'est pas humectée de goudron. Une sole en dolomie s'établit à chaud sur une cuirasse en magnésie, de la même façon qu'une sole acide en quartz. Le four étant mis à feu et chauffé au rouge, on charge la sole d'une couche de dolomie frittée, concassée en fragments de 3 à 6 millimètres ; jetée à la pelle, elle prend dans le four son talus naturel le long des piédroits, et forme une cuvette que l'on cuit par plusieurs heures de grand feu. Les couches successives sont chargées et cuites de même par épaisseurs de 4 à 5 centimètres : lorsque la dolomie est répandue à la palette sous une épaisseur uniforme (on arrête le gaz pendant cette opération), on la cuit quelques heures, avant d'y projeter un peu de laitier pulvérisé qui entre en fusion, et de lui donner un coup de feu : cette scorie forme une surface vitreuse qui fait adhérer la dolomie de l'assise supérieure. La dernière couche étant régalée, on soude l'ensemble par un coup de feu prolongé.

Il n'est pas nécessaire d'employer pour les soles agglomérées au feu de la dolomie goudronnée; en tout cas, il ne faut qu'une très faible proportion de goudron; le mélange ne doit avoir aucune consistance à froid et rester coulant comme du sable. La magnésie peut remplacer la dolomie et est employée de la même façon; cependant, comme elle est moins frittable, il est préférable d'y adjoindre du goudron en faible quantité; après cuisson, on la glace au laitier calcaire.

Soles neutres. — Le fer chromé qu'on emploie pour la fabrication des soles est généralement recouvert d'une couche de produits basiques, car à la longue il est attaqué par le métal, qui se durcit en le dissolvant.

La chromite est cassée en fragments de 1 à 3 centimètres et mélangée

de manière à ne présenter que fort peu de vides; ceux-ci sont remplis avec de la magnésie finement moulue et goudronnée, formant un béton très sec qui est appliqué sur les plaques de la sole et damé à chaud. On lui donne 25 centimètres d'épaisseur, en le raccordant par une surface concave avec les piédroits construits également en fer chromé jusqu'au niveau du bain. Une forte cuisson soude le tout; on revêt alors la sole de deux ou trois couches de dolomie, de la même façon qu'une sole cuite; cette épaisseur suffit pour supporter l'usure courante, en laissant inattaquée la cuirasse neutre.

En faible proportion, la magnésie ne constitue pas un inconvénient pour le fer chromé; cependant on peut l'écarter de l'ouvrage, qui est alors uniquement constitué par de la chromite. Celle-ci, moulue très fine et tamisée, est malaxée au goudron de la même manière que la magnésie, damée à chaud et cuite; une couche de dolomie est mise par-dessus le tout.

La dolomie se conserve bien si l'on a soin, avant la charge, de la recouvrir de castine moulue ou de poussière de chaux; la castine est préférable, parce que les grains, plus gros, sont moins facilement entraînés par le courant gazeux. Une couche de fines tôles ou de menus riblons bien propres la protège jusqu'à fusion complète du bain; une scorie fortement calcaire se forme à la surface de la sole, y adhère et la garantit pendant le travail.

MISE EN FEU

Séchage. — Le séchage a pour but de chasser la majeure partie de l'humidité apportée par les coulis et les mortiers; les briques doivent être conservées suffisamment à sec dans leur magasin pour ne pas être humides avant la mise en œuvre. Le point important est que le séchage s'effectue très lentement, de manière que la vapeur n'atteigne pas une tension suffisante pour briser les matériaux ou désagréger les couches de ciment; aussi ne dirige-t-on tout d'abord sur le four que des gaz à très faible température.

Les carneaux de gaz, dans un four entièrement neuf, sont séchés séparément; on y fait circuler les fumées d'un foyer à petit coke ou à escarbilles, établi à l'une des extrémités.

Pour le four, on construit sur la plate-forme de chargement un

foyer auxiliaire devant la porte médiane. Le gaz et l'air étant fermés, on donne par la cloche, soulevée dans sa position moyenne, communication avec la cheminée par les deux têtes et les quatre chambres.

Le foyer auxiliaire est entretenu par de l'escarbille ou du fraisil de coke, qui ne donnent pas de flamme; les gaz qui débouchent dans le laboratoire se trouvent rapidement refroidis par l'afflux d'air qui se produit aux interstices de toutes les portes et ouvertures diverses, obturées cependant avec soin. La vapeur d'eau s'échappe des maçonneries sous forme de buée; on la voit se déposer à l'extérieur sur les objets métalliques. On continue le chauffage tant que les parois du four sont encore humides et que la vapeur reste visible, ce qui demande cinquante à soixante heures; l'extérieur des maçonneries atteint alors une température de 60 à 70°. Le chauffage est poussé plus fort pendant les dernières heures du séchage.

Tout en entretenant encore le foyer pendant quelque temps, on allume sur la sole un feu de bois sec à longue flamme, en conservant le tirage par les deux têtes pour coucher la flamme et préserver la voûte. Le chauffage au bois est prolongé jusqu'à ce que le four soit complètement sec, c'est-à-dire que les maçonneries soient portées au rouge naissant dans le four et vers 300° au bas des chambres. Après douze à quinze heures de chauffage au bois, on accélère la combustion en mettant alternativement chacune des têtes à la cheminée, et en allumant du bois, par les regards placés à la suite de la cloche, dans les galeries des chambres montantes, principalement dans la galerie à gaz. L'appel d'air se fait ainsi par la chambre à gaz, dont la base s'échauffe.

Pendant le chauffage au bois, la voûte tend à s'élever sous l'action de la flamme qui en frappe la partie inférieure et la dilate, en faisant ouvrir les joints de l'extrados. Il faut éviter soigneusement cet accident, et desserrer les boulons de tension de façon à conserver le cintre primitif jusqu'au moment du chauffage au gaz : une voûte qui s'élève trop tôt ne travaille pas également en tous ses points ; elle a tendance à s'ouvrir aux reins, qui sont plus chauffés que le voisinage des sommiers.

Avant de mettre le gaz, la chaleur doit être suffisante pour que l'intérieur des chambres paraisse légèrement lumineux, vu dans l'obscurité par les regards laissés aux portes. Un four neuf exige trente-cinq à quarante heures de chauffage au bois; il ne faut que dix-huit heures pour un four qui a subi une réparation partielle, et

dont les chambres, n'ayant pas été changées, conservent encore un peu de chaleur ou tout au moins ne sont pas humides.

Chauffage au gaz. — La mise au gaz d'un four neuf exige que le laboratoire soit porté au rouge sombre, pour que le gaz s'y enflamme spontanément, et ne risque pas de s'éteindre. Le gaz de gazogène froid est en effet difficile à allumer, et sa combustion peut ne pas se propager, par suite du peu d'éléments combustibles (1/3 environ) qu'il renferme. Aussi risque-t-on toujours une explosion, quand la combustion ne se fait pas normalement dans le laboratoire, et s'étend soit aux gaz non brûlés dans les chambres descendantes, soit en rétrogradant si de l'air est mélangé au gaz.

La mise au gaz est ordonnée de façon à n'avoir en contact que le plus faible volume possible de gaz et d'air susceptible de former un mélange explosif : on remplit d'abord la canalisation de gaz jusqu'à la cloche, avant de mettre le four en circuit ; toute rétrogradation de la flamme se limitera donc aux chambres.

Le bois étant enflammé dans le four, on ferme les portes et on donne l'air par la chambre montante en faible quantité ; cet air, en traversant le four, se charge d'acide carbonique, et part vers la cheminée, très peu comburant. Tournant alors la cloche à gaz dans sa position médiane, on met le four hors circuit ; le gaz qui remplit la conduite s'échappe directement à la cheminée. Pendant ce temps, le four reçoit l'air de la chambre montante, et, en raison de l'aspiration de la cheminée et du court circuit par la cloche, le gaz n'y pénètre point ; il y aurait au contraire plutôt appel, par les chambres à gaz, des produits de combustion du four vers la cheminée ; or ils ne présentent aucun danger, puisqu'ils renferment peu d'oxygène et sont relativement froids ; ils emplissent ainsi le récupérateur à gaz descendant et ses carneaux.

On inverse l'air et on met le four en circuit ; le gaz, ne trouvant point d'autre issue, traverse le récupérateur primitivement descendant, mais ne s'y enflamme pas, en raison de sa faible proportion dans le mélange et du peu d'oxygène que renferme l'atmosphère de fumées remplissant le récupérateur. Il arrive ainsi au four, où il s'enflamme au contact de l'air, du bois allumé et des parois chaudes.

Au commencement, on laisse très peu de gaz pour n'élever la température que lentement, sans cependant réduire sa vitesse au point que la pression au four ne fasse rétrograder la flamme dans la chambre à gaz montante ; à cet effet, on ouvre suffisamment le tirage à la

cheminée et on ferme la vanne à gaz presque complètement, ce qui donne une dépression dans le four. Le chauffage est mené très doucement pendant quinze ou vingt heures, avec une flamme ne dépassant pas la demi-longueur du laboratoire.

Les inversions d'air et de gaz sont faites d'heure en heure; cet intervalle est réduit à mesure que la quantité de gaz augmente dans le four, jusqu'à la durée normale.

Un four de 12 tonnes nécessite soixante-dix heures de gaz. Pour les grands fours, le chauffage demande plus de temps, à cause du plus important volume des maçonneries et de l'épaisseur plus forte des parois. Lorsque le four est prêt à être mis en service, il doit présenter à travers une glace bleue la même incandescence qu'après une coulée ; la flamme est longue et blanche. Les chambres fournissent des indications précises; on les examine par les regards, et, quand leur température est normale, on considère le chauffage comme terminé. On peut d'ailleurs s'assurer de leur température au moyen d'un pyromètre, ou plus simplement par la fusion d'une tige de cuivre ; on a conduit les inversions et le tirage de manière que la température soit égale pour chacun des groupes de chambres, et dans un rapport convenable pour les récupérateurs à air et à gaz de chaque groupe.

On ne doit pas se hâter pour le chargement, car le temps gagné sur le chauffage est perdu à la première coulée, qui reste trop longtemps au four et cause ainsi une perte de métal, tout en risquant d'être mauvaise.

Mise en service. — Après la mise en service, il faut, pour les premières coulées, faire non pas la qualité d'acier dont on a besoin, mais celle qui convient le mieux au four. La charge est généralement réduite de 1/10 à 1/6 de sa valeur normale, pour que la coulée soit moins longue, car la sole n'a pas été chauffée par le gaz comme elle peut l'être par la conductibilité du métal; elle présente par suite, en certains points, une cuisson incomplète qui exige des ménagements.

On prépare dans la fosse de grosses lingotières, pour couler au besoin très rapidement. La poche, fortement chauffée, porte une busette à gros orifice; enfin on prend aussi les dispositions pour couler par le bec de la poche, s'il est nécessaire.

CHAPITRE XV

ENTRETIEN DES FOURS MARTIN

PRÉPARATION DU FOUR POUR UNE OPÉRATION

Réparation des cordons. — Le métal étant complètement versé dans la poche, on repousse la scorie qui restait pour en couvrir le métal, puis on éloigne la poche du chenal. Il est très important de nettoyer complètement la surface de la sole avant d'y exécuter les réparations : la scorie qui resterait exhausserait le four sans utilité, et ne formerait pas une combinaison résistante avec les matériaux employés.

Les parties les plus rongées sont les cordons, c'est-à-dire la ceinture qui s'étend à la hauteur de la scorie ; la sole peut aussi avoir été attaquée au début, avant la formation d'une scorie fortement basique. On répare les soles avec les matières qui les constituent : quartz, magnésie ou dolomie. Le prix élevé de la magnésie la fait peu employer actuellement pour les soles, sauf pour former au fond une couche protectrice recouverte de dolomie; comme une sole en magnésie ne peut être réparée uniquement avec de la dolomie, il vaut mieux avoir la sole toute en dolomie.

Les cordons sont à chaque coulée refaits avec de la dolomie ou même de la chaux, qu'on humecte légèrement de goudron et qu'on dame avec des palettes; la combustion du goudron la fait prendre aussitôt. La chaux peut même se passer de goudron, si on en protège la surface par la castine qui doit servir à l'opération suivante ; la. chaleur la glace au contact de la crasse adhérant encore aux parois. De plus, le prix peu élevé de la chaux la fait convenir pour l'entretien courant.

La sole n'est pas soulevée ou rongée à chaque opération. Quand il y a lieu de combler les trous formés, on y verse par couches minces un mélange de dolomie et de goudron, qu'on dame fortement avec le dos de la pelle; on cuit, s'il le faut, après chaque couche, pour que le goudron distille avant le remplissage du trou, sans quoi les gaz produits la feraient soulever. Une sole trop chaude nuirait à l'adhérence; on la refroidit souvent, après nettoyage du point endommagé, par un seau d'eau lancé dans le four; il n'y a à cette pratique aucun danger si la sole est propre et ne contient plus de métal. Si la réparation atteint une grande profondeur, il faut la laisser cuire avant de charger, pour glacer la surface; on la protège d'ailleurs avec des chutes de tôle mince et de la castine qui la garantissent jusqu'à leur propre fusion.

La sole ne conserve plus en marche courante la forme qu'elle avait au début: elle s'est arrondie, car les piédroits, rongés aux cordons, s'effondrent peu à peu en talus près des parois, et doivent être consolidés par la base. La capacité du four s'en trouve quelque peu réduite.

Dans les fours sans autel, les arrivées de gaz, peu plongeantes et presque au niveau de la scorie, peuvent en entraîner une partie; celle-ci est quelquefois emprisonnée derrière un barrage formé par les réparations précédentes. Il faut, à chaque coulée, vérifier les soles des rampes, et les regarnir en talus peu incliné.

Les piédroits des portes sont plus exposés que le mur du fond; pendant le chargement ils ont à subir des chocs et risquent d'être échancrés par le passage des longues chutes de tôle. On les remonte avec un mélange de magnésie et de dolomie tamisées, malaxées avec un peu d'eau; on applique cette pâte avec une palette. Dans le pied même du talus, on utilise des débris de vieilles briques cassées qu'on cale avec des blocs de castine: le tout est luté avec de la magnésie humide. Quand toutes les réparations sont terminées, on bouche le trou de coulée.

Les soles acides risquent moins de se soulever que les soles basiques; leur usure se produit surtout au début de l'opération, avant la saturation des oxydes métalliques. Elles sont même quelquefois exposées à se garnir, surtout aux angles, comme cela se produit dans les convertisseurs Bessemer. L'usure, à peu près régulière, est réparée par une couche réfractaire aux points attaqués; on prend des matériaux semblables à ceux de la sole, ordinairement du quartz étonné et pulvérisé, qu'on applique avec le dos de la palette. On

recharge aussi les cordons à la palette, de sorte que les grains de quartz prennent un talus naturel depuis les piédroits en se raccordant avec la sole. La cuisson suffit à agglomérer la réparation et à la souder avec la sole qui conserve toujours une légère couche de scorie fusible.

Si la sole est attaquée profondément, il est prudent de réparer par couches successives qu'on fait cuire à mesure : une pièce trop épaisse cuirait mal à cause de la faible conductibilité du quartz et elle tendrait ensuite à se soulever.

Bouchage du trou de coulée. — Le bouchage des fours basiques se fait en dolomie ou magnésie, et même en chaux ou castine ; la magnésie donne plus de sécurité, et laisse un trou plus régulier. Dès que le four et le chenal sont bien nettoyés, on jette dans le fond une pelletée de magnésie mêlée avec un peu de goudron ; pour ne pas créer un talus trop épais, on appuie ce bouchage provisoire sur une planchette emmanchée au bout d'une pique qu'on introduit par la porte du milieu. Sur cet appui, on dame la magnésie sur une épaisseur de 30 à 40 centimètres suivant l'usure moyenne observée aux coulées précédentes, en tassant peu les dernières couches qui servent plutôt de remplissage. On les protège enfin par une couche de terre argileuse de 15 à 20 centimètres qui vient affleurer la face extérieure du four.

La magnésie (ou la dolomie) doit être finement moulue ; on lui ajoute peu de goudron pour qu'elle ne devienne pas trop compacte par la cuisson. Quand on se sert de chaux, elle est légèrement humectée d'eau, mais son emploi ne donne pas de sécurité. Souvent aussi, on bourre de la castine moulue derrière une couche de dolomie, mais une percée est toujours possible, ou bien, par suite d'une scorification trop profonde, on risque d'éprouver beaucoup de difficultés à percer le bouchage et de perdre un temps précieux au moment de la coulée.

Le bouchage doit être terminé en huit ou dix minutes, puis on charge aussitôt. Le chenal est ensuite préparé avec de la terre argileuse mêlée de sable, son fond étant revêtu d'une couche de briques qui durent longtemps. Il est ensuite séché avec un feu de bois et entretenu chaud pour que le métal ne s'y fige pas en coulant.

Il peut arriver que dans une sole en mauvais état se forment des plaques d'acier solidifié; elles ne peuvent y rester sans danger. Comme il n'est guère possible de les détacher avec des outils, on

les fond sur place en les mettant en contact avec des gueuses de fonte silicieuse dont la fusion entraîne celle du scraps d'acier ; le métal fondu, mélangé de scorie, est tiré par le trou de coulée.

Les parois du trou se dégradent peu à peu et les réparations qu'on y fait n'ont plus la solidité suffisante. Pour le refaire à neuf, on enlève ce qui reste des parties avariées, puis on place dans le trou un rondin de bois autour duquel on jette de la dolomie par l'intérieur du four ; on l'y pilonne fortement avec un crochet. Par l'extérieur, on dame de la magnésie goudronnée contre le talus formé par la dolomie, jusqu'au niveau habituel du bouchage ; on laisse cuire pour calciner le bois, et on bouche le trou comme à l'ordinaire. Il est prudent, pour la première opération, d'observer fréquemment le bouchage, et surtout de ne commencer à le dégarnir qu'au moment même de la coulée.

Les fours acides sont bouchés avec du quartz en grains, comme celui qui sert à réparer la sole. Par la porte médiane, on le jette à la pelle jusqu'à fermer le trou complètement ; puis, par l'extérieur et derrière cette garniture, on dame un mélange de quartz à grains plus fins avec 4 à 5 0/0 d'argile. Ce mortier sec, fortement pilonné sur 20 à 30 centimètres, maintient la couche intérieure, qui seule subit la chaleur ; enfin une couche de terre argileuse consolide le tout, et l'empêche de s'effriter pendant la dessiccation. Comme dans les autres fours, le chenal est garni d'argile siliceuse.

RÉPARATIONS EN MARCHE

Un four neuf peut faire 200 coulées et plus sans nécessiter d'autres réparations que celles qui précèdent chaque coulée. Mais un moment arrive où une partie seule du four est endommagée, alors que le reste est encore assez bon pour ne pas exiger une mise hors feu.

Sole. — Les soles basiques, surtout celles en magnésie, se garnissent souvent lorsqu'on emploie beaucoup de castine ; leur capacité s'en trouve réduite, pendant qu'augmentent les risques de brûler la voûte, D'autre part, des creux se forment, de sorte qu'après quelques semaines d'usage la sole est comme vallonnée. On la baisse par un simple chauffage au gaz qui la fond ; un aide se tient

au chenal pour tirer la scorie que le fondeur lui pousse au crochet. On facilite la corrosion et l'évacuation de la crasse en répandant aux points à attaquer une couche mince de sable siliceux qui donne rapidement une scorie très fusible ; le spath fluor a une action plus énergique encore, mais son emploi exige beaucoup de prudence; on termine la remise au niveau par une simple fusion, et on fait ensuite les réparations utiles.

La sole peut être percée par endroits jusqu'à sa cuirasse, ou bien on a pu, en la baissant, la désagréger en un point au-dessous du niveau normal : il faut alors y remettre une pièce. On enlève la partie à remplacer en la fondant au moyen de silice ou mieux de spath, puis on reconstruit à chaud. On emploie à cet effet deux procédés : soit par couche épaisse, soit par couches minces avec glaçage.

Dans le premier, on étend et on dame à la pelle un mortier maigre de dolomie et de goudron, par épaisseurs de 5 à 7 centimètres; ces couches sont damées sans interruption et se soudent les unes aux autres, mais il est nécessaire que la première soit bien adhérente à la sole ; cette opération est pénible, et on doit l'exécuter pendant que le gaz est du côté opposé à celui où l'on travaille. Le second procédé, plus long, mais plus sûr, consiste à répandre à la pelle de la dolomie sèche en couches minces de 3 à 5 centimètres qu'on glace l'une après l'autre par un coup de feu; la sole a été d'abord bien échauffée, et les coups de feu sont prolongés jusqu'à frittage. Les couches se soudent encore mieux entre elles quand on y sème des poussières de scorie Martin qui pénètrent dans les fissures.

S'il ne survient pas d'accidents imprévus, une sole bien établie peut durer plusieurs mois. Quant à la cuvette formant le fond, elle peut se maintenir plusieurs années, tant que le revêtement qu'elle supporte ne l'a pas mise à nu; elle devient même inattaquable en vieillissant; la longue période de chaleur qu'elle subit durcit les briques et les transforme en un seul bloc.

Si par usure régulière toute la surface de la sole s'est abaissée au-dessous du niveau normal, il vaut mieux suspendre la marche : d'une part, le four chauffe moins bien; de l'autre, on s'expose à percer la cuirasse de briques en cas de soulèvement des dernières couches de pisé. La réparation peut être faite sans mise hors feu, en formant un laitier fusible avec ce qui reste de la sole au moyen d'additions appropriées : sable de rivière ou laitier pulvérisé de haut-fourneau pour une sole basique, castine moulue et batti-

tures pour les soles acides; dans l'un et l'autre cas, une faible quantité de spath fluor rend la scorie plus fluide, mais il ne faut pas oublier ses propriétés corrosives. On conserve tout d'abord un bouchage grossier pour que la scorie déjà saturée reste en contact avec la sole; puis, de temps à autre, on ouvre ce bouchage pour évacuer la scorie; on termine le nettoyage en remplaçant les corrosifs par des scories Martin d'opérations précédentes, et, sur l'aire ainsi obtenue, on peut reconstituer à chaud une sole neuve. Toutefois, on laisse tomber un peu la température avant d'étendre la première couche de dolomie, tandis qu'au contraire on donne le gaz en plein pour la scorifier et obtenir l'adhérence. On reforme de même à chaud les soles acides, sans ajouter aucun liant au quartz.

Les conditions de la fabrication peuvent amener la sole à se garnir d'une façon continue, par exemple lorsqu'un four acide produit pendant longtemps de l'acier dur. On répand alors de temps en temps, à la surface des laitiers pulvérisés rongeants, des battitures, qui corroderont le garnissage. Les soles basiques montent quelquefois lentement avec des castines riches en magnésie, qu'on charge près de la sole; on y remédie facilement en plaçant pendant quelques coulées la castine sur une couche de ferrailles, ou même en garnissant la sole d'une mince couche de ferrailles surmontée de fonte.

Le four peut être mis hors feu sans qu'il y ait lieu de refaire la sole, sauf à la base des piédroits. Comme ces derniers doivent reposer sur une assise solide, on dégrade partiellement les parties à démolir avant la mise hors feu, en les rongeant par un fondant. Lorsque le four est froid, on attaque ce qu'il en reste à la pince et au pic, jusqu'à ce qu'on atteigne une assise de briques intacte, sur laquelle on bâtit. Le raccord de la base des piédroits et de la sole se fait à froid, en briques et pisé damé; après la mise en feu, on recouvre la sole et les parties réparées de couches de pisé agglomérées par la chaleur.

Piédroits. — Les piédroits sont exposés pendant le chargement à des chocs qui les dégradent; d'autre part, le retrait qu'éprouvent les matières basiques tend à les faire effondrer en talus, de sorte que des parois montées presque verticales prennent peu à peu une inclinaison de 50 à 60°, et peuvent même s'écrouler par la base. On les répare avec des fragments de briques de démolition et du mortier, dans l'intervalle de deux coulées.

Les seuils des portes sont refaits en dolomie au goudron, appli-

quée en talus. Une infiltration métallique peut soulever les seuils, et créer des percées : il faut alors démolir le mur de briques pour le refaire complètement.

Le mur d'arrière se dégrade comme les piédroits et peut laisser l'armature à nu. Son entretien est facile : par les portes de chargement, on projette violemment contre le mur, à la pelle, de la dolomie goudronnée; une partie reste attachée au mur, et ce qui tombe complète le talus. Une épaisseur de 15 centimètres au sommet suffit pour empêcher l'échauffement trop prononcé des armatures. Il est même possible de remplacer des briques tombées au moyen d'une large palette supportant une brique neuve qu'on pousse avec un crochet; deux hommes au moins sont nécessaires pour ce travail.

Les fours acides sont moins sujets aux effondrements, car la silice gonfle à la chaleur, sans s'effriter comme le fait la magnésie. On les répare avec du quartz en grains sans agglomérant dans les parties en pente douce, et, pour les murs ou parois verticales, avec des briques ou un mortier d'argile et de quartz.

Carneaux. — Du côté des arrivées de gaz, les autels (ou la rampe, qui les remplace si le carneau est peu incliné) sont usés par le passage du gaz et des fumées, qui entraînent des parcelles de scorie, de chaux et de métal. Les filets gazeux creusent sur les briques des rainures qu'on remplit de dolomie pendant les arrêts; on y accède par les voûtelettes supérieures, qui, montées sur armature en fer, sont mobiles, ou bien, ce qui est plus facile encore, par l'arrière même de la culasse. Il faut enlever au préalable toute la scorie ou le métal, qui rendraient les arrivées de gaz susceptibles d'être percées; car, si l'accident se produit, la mise hors feu immédiate est souvent nécessaire pour la réfection.

L'entretien des arrivées d'air est le même, mais elles sont bien moins sujettes à se détériorer. Quand elles sont au-dessus des carneaux à gaz, elles redoutent peu l'entraînement de matières solides, grâce à leur plus forte inclinaison. Elles peuvent être observées par le soulèvement des clefs, ce qui laisse voir la cloison de séparation.

Cette cloison s'use rapidement, car le nez est exposé à la flamme dans le laboratoire même; on lui donne actuellement une grande longueur qui lui permet de durer plus longtemps. On la répare, après avoir retiré les clefs ou ouvert le regard d'arrière du carneau à air, par l'adjonction, au moyen d'une longue tenaille, de

briques neuves, qui ramènent la voûte à son épaisseur et réduisent l'usure du biseau.

Portes. — La pression dans le four peut atteindre, mais ne dépasse pas celle de l'atmosphère, aussi les portes sont-elles rarement brûlées par les flammes. Néanmoins, les fumées refluent quelquefois vers les carneaux de la chambre descendante et menacent de brûler les portes et leurs voûtes. Dès qu'on s'aperçoit qu'une porte est atteinte, on la change à la coulée suivante. Comme on a toujours prêtes des portes briquetées, l'opération est une simple manœuvre que seul le rayonnement du four rend pénible.

Les voûtes des portes peuvent aussi être minées par le remous, et, si l'une s'écroule, elle est souvent suivie par les autres. C'est alors un arrêt obligatoire, ou tout au moins un refroidissement prolongé pour que le rayonnement devienne supportable. On met le tirage à la cheminée sur les quatre chambres pour entraîner le courant d'air chaud, et on obture le four vers l'intérieur avec une forte tôle. Sur un cintre établi grossièrement avec des piles de briques, et qui est ensuite enlevé, on rebâtit la voûte ; il suffit de quelques heures, avec des briques bien taillées, pour réparer un cintre de porte. Il est évident que ces travaux ne sont possibles que si la grande voûte est indépendante des piédroits, c'est-à-dire soutenue seulement par les armatures.

Voûte. — La voûte peut durer au moins deux campagnes, à moins qu'elle ne soit brûlée par un jet de flamme. Elle peut être réparée en marche quand une partie devenue trop mince s'est percée et effondrée. Dès la coulée terminée, on applique au-dessous une tôle rivée à une barre solide, qu'on a passée par une porte ; sur ce cintre momentané qui peut résister quelques minutes à la chaleur, on place les briques de remplacement en les faisant dépasser légèrement à l'intérieur ; en raison de la minceur de la voûte, elles débordent également sur l'extrados. La pièce ajoutée se soude par la suite avec l'ensemble, après quelques heures de feu. Pour une voûte coupée par un jet de gaz sur une grande longueur, on procède par pièces séparées, en commençant à la fois par les deux extrémités pour terminer au milieu.

Pendant la marche, la voûte est entretenue très propre pour assurer la régularité de son refroidissement. Elle est balayée de temps à autre, et on évite de laisser les poussières pénétrer dans les fissures ;

on bouche les joints qui s'ouvrent en les remplissant de poussier de brique siliceuse.

Lors d'un arrêt avec refroidissement complet, on peut, avec certaines précautions, conserver la voûte pour la campagne suivante. On la resserre progressivement pendant qu'elle se refroidit, en agissant sur les écrous des tirants; pour les serrer également, un homme applique tout son poids à l'extrémité d'une clef, alternativement sur chacun d'eux, toutes les quinze ou vingt minutes. La voûte étant uniformément maintenue des deux côtés, sa partie médiane, qui a pu se souder avec les carneaux, ne subit pas de glissement, et par suite conserve sa forme et sa courbure malgré la contraction de la silice. Une voûte de 3 mètres de large doit être serrée de 6 à 8 centimètres.

Après réparation, un point délicat est de réchauffer convenablement la voûte pour lui faire reprendre son cintre primitif sans qu'elle se gondole dans un sens ou dans l'autre. Les parties minces ont tendance à se courber davantage; c'est le contraire pour les endroits neufs ou restés épais. La dilatation exerce sur les boulons une tension qu'on atténue en desserrant progressivement les écrous tous les quarts d'heure; on ne donne à chaque fois qu'une fraction de tour, répétée sur tous les tirants et sur chacune des faces. On se guide par des témoins placés sur la voûte à côté des tirants pour donner plus ou moins de jeu à chacun d'eux et conserver à la voûte une courbure régulière. Après réchauffement complet, elle a le plus souvent un cintre plus prononcé qu'avant l'arrêt; le four en chauffe peut-être moins facilement, mais d'un autre côté la voûte, plus éloignée du bain, est moins exposée à brûler.

Récupérateurs. — Les carneaux à gaz et à air sont munis de regards fermés par des briques, et par lesquels on s'assure fréquemment que les conduits ne sont pas bouchés par des briques fondues ou tombées, ou bien par des scories entraînées. On attaque l'obstruction à la pince et au crochet, et on fait tomber les débris dans la chambre de sûreté placée sous le conduit.

Les chambres de récupérateurs durent plus d'une année sans réparation, surtout si elles sont munies de chambres de sûreté sous les arrivées de gaz et d'air; dans ces chambres tombent les matières entraînées et les débris, de sorte que la surface libre laissée au gaz demeure constante. On vide ces chambres s'il y a lieu, lors d'un arrêt du four. D'ailleurs, elles n'existent pas toujours, surtout dans

les chambres à air, qui sont moins exposées à recevoir du laitier; dans ce cas, il est bon de prévoir la section des empilages un peu plus large, puisqu'elle se trouvera réduite.

Les rangées supérieures des empilages sont d'ordinaire les seules qu'il faille remplacer après une campagne. Il est nécessaire, pendant la réparation des carneaux, de recouvrir l'empilage de tôles jointives, pour éviter la chute de déchets qui créeraient des laitiers fusibles, ou tout au moins réduiraient la section; ces tôles sont ensuite balayées avec soin avant leur enlèvement, ce qui n'empêche point de nettoyer le fond de la chambre en y pénétrant par les galeries.

Arrêt momentané d'un four. — Pour un nettoyage ou une légère réparation, l'interruption du gaz doit être assurée autrement que par la vanne de réglage. La coulée terminée et la sole nettoyée, on laisse le trou ouvert; on ferme l'air en même temps que le gaz est mis en communication directe avec la cheminée (la cloche étant à sa position médiane), puis fermé. On abaisse alors les tampons de fermeture du groupe de gazogènes, ou même, si l'arrêt est prolongé, on ferme chacun des gazogènes.

Avant d'entrer dans une conduite de gaz, on la laisse d'abord en relation avec la cheminée pour que s'échappe le gaz qu'elle renferme, puis on l'isole. Il faut la laisser bien refroidir avant de l'ouvrir, car les suies légères qui s'y sont déposées deviendraient incandescentes et seraient difficiles à éteindre. Un tuyau de tôle rougirait et se déformerait; un conduit en briques souffre moins, mais il conserve plus longtemps une chaleur qui en rendrait le séjour intolérable.

Un arrêt du gaz qui dépasse trois ou quatre heures refroidit assez la voûte pour qu'elle en éprouve une contraction, et il faut songer à resserrer les boulons des tirants à intervalles rapprochés comme pour un long arrêt. Dès qu'on recommence le chauffage, on rend à la voûte sa flèche primitive.

La mise du gaz se rétablit facilement; si le four est encore assez chaud, les gaz réchauffés dans les chambres s'allument spontanément dans le laboratoire. Le temps du réchauffage est égal ou un peu supérieur à celui de l'arrêt; après une mise hors feu de plusieurs jours, le four est refroidi complètement et doit être chauffé comme un four neuf déjà séché. Les récupérateurs conservent pendant huit ou dix jours assez de chaleur pour qu'il soit inutile de les sécher avant le chauffage du four.

DURÉE DES FOURS MARTIN

La durée des fours Martin s'évalue d'après le nombre d'opérations qu'ils peuvent exécuter, ce qui est plus rationnel que de l'estimer d'après leur temps de service.

Les diverses parties n'ont pas une égale durée; les plus fragiles sont celles qui reçoivent la flamme à sa formation et celles qui subissent des chocs ou des variations de température. Les brûleurs et les costières supportent de 200 à 500 coulées. La voûte peut faire de 600 à 1.000 coulées, si le four n'est pas arrêté souvent et s'il garde une chaleur constante; aussi répare-t-on l'intérieur, piédroits et brûleurs, sans démolir la voûte.

Les parties profondes de la sole sont conservées pendant 1.800 à 3.000 coulées; on refait seulement, au bout de 200 à 400 opérations, la partie supérieure, après l'avoir fondue.

Les récupérateurs à gaz résistent moins longtemps que les chambres à air, à cause des dépôts de cendres, de suies, de scories. Selon la capacité des chambres de sûreté, la durée des premiers varie de 600 à 1.200 coulées; celle des seconds va de 1.200 à 2.000.

Enfin les galeries à gaz, les carneaux de fumée sont visités et réparés à chaque arrêt prolongé du four. Les maçonneries constituant l'enveloppe des régénérateurs, les soubassements des culasses, les murs d'appui de la sole sont susceptibles de durer dix à douze ans, à moins d'avaries graves résultant d'accidents.

CHAPITRE XVI

PROCÉDÉS MIXTES

La qualité de l'acier sur sole est toujours supérieure à celle de l'acier de conversion, et est aussi plus régulière. De plus, sa fabrication peut s'effectuer pour une production très variable, sans cesser d'être économique lorsque la construction des fours et leur conduite sont adaptées aux circonstances. L'installation coûteuse des appareils de conversion exige une grande production qui n'est pas réalisable partout; elle ne peut être faite que dans les régions pourvues de hauts-fourneaux, c'est-à-dire dans celles où le minerai est abondant. Enfin la conversion nécessite des fontes manganésées spéciales; celles qui ne sont pas phosphoreuses doivent être riches en silicium, les autres ont besoin d'une forte teneur en phosphore. Ainsi certaines fontes, obtenues avec des minerais peu coûteux, contenant de 0,1 à 0,5 0/0 de phosphore, sont difficiles à traiter par conversion; trop impures pour un garnissage acide, elles sont trop pauvres en phosphore pour un affinage basique.

Ces fontes peuvent être employées au four Martin dans l'affinage sur sole basique, sans nécessiter aucun enrichissement en silicium ou en phosphore. Mais l'opération, déjà longue par elle-même, le devient encore davantage et augmente notablement la dépense, lorsque le poids de fonte dépasse celui qui est nécessaire pour garantir le métal contre l'oxydation pendant sa fusion. Malgré une allure très oxydante, le four produit peu, dépense beaucoup de combustible et donne un déchet important.

Il était donc naturel, dans l'affinage sur sole, de chercher à employer la fonte en proportion notable sans qu'il en résulte d'inconvénients; il fallait disposer d'un procédé d'oxydation rapide qui, sans être aussi radical que la conversion, pût oxyder une charge composée en majeure partie de fonte. Dès l'origine du procédé Martin, on eut recours au minerai dont la dissolution donne une scorie très oxydante; mais son emploi dans des fours de petite capacité est onéreux : il pro-

duit une assez grande perte, car une faible partie de l'oxyde de fer du minerai est réduite. L'emploi de minerais riches est donc coûteux, celui de minerais pauvres donne trop de scories.

Le procédé au minerai est actuellement remis en vigueur avec certaines modifications qui réduisent les inconvénients précédents.

PROCÉDÉ D'AFFINAGE SUR SOLE AU MINERAI

Les revêtements acides sont peu propres à une décarburation rapide, car l'oxydation tend à se porter sur le métal, en raison de l'affinité de la silice des parois pour les oxydes de fer et de manganèse. Aussi est-il nécessaire, pour affiner un bain renfermant beaucoup de fonte, de recourir à un garnissage basique. Alors qu'au début on ne pouvait charger que 30 0/0 de fonte sur sole acide, on peut facilement employer presque uniquement de la fonte sur garnissage basique.

Cependant, lorsque, sur une sole en dolomie recouvrant une cuirasse de magnésie ou de fer chromé, on charge une proportion notable de fonte, du minerai et la castine nécessaire à la saturation des acides, on constate une usure très rapide de la sole et des cordons des fours. Elle est due à la fusion de la fonte qui se produit avant que la scorie ne se soit formée, et le silicium qui brûle dès le début ne trouve pas à se saturer immédiatement. On a aussi une production considérable de scorie ; le minerai n'entre en dissolution qu'après la fusion totale et la formation de la crasse, de sorte que son action est peu intense et que la plus grande partie du fer qu'il contient reste combiné à la scorie. Il en résulte un entretien onéreux et des pertes notables.

On a modifié le procédé primitif d'une façon ingénieuse en formant avant le chargement de la fonte la scorie peroxydée qui doit la réduire. On opère dans des fours basiques à sole en dolomie, d'une capacité de 25 tonnes au minimum. On charge un mélange de chaux et de minerai concassés, représentant 25 à 30 0/0 de la capacité du four, puis on donne tout le gaz jusqu'à ce que se produise la fusion de ces matières. La chaux et le minerai sont tous deux, pris séparément, à peu près infusibles ; mais, s'ils sont mis en présence, ils entrent en réaction en formant une scorie (cette remarque a été faite maintes fois dans les hauts-fourneaux où la substitution de la

chaux au calcaire provoque des accrochages par ramollissement du minerai et combinaison avant réduction). Il semble probable que cette facilité de réaction provient de la fonction du sesquioxyde de fer, Fe^2O^3, qui donne un ferrite de chaux, alors que les éléments acides du minerai forment également des silicates fusibles. Cependant l'excès de chaux non combiné reste en mélange avec le ferrite de chaux et l'épaissit, ainsi que le minerai qui n'a pas complètement réagi.

Lorsque la formation de la scorie est à peu près complète, on charge la fonte. Au contact d'un four déjà chaud, sa fusion s'effectue rapidement; le métal liquide entre alors en réaction avec la scorie, dont la teneur en sesquioxyde de fer s'abaisse peu à peu. En raison de la haute température, le départ du carbone est rapide, de sorte que l'oxydation se porte peu sur le fer lui-même : il suffit que la fonte contienne très peu de corps réducteurs, d'autant plus que le métal se trouve immédiatement en contact avec une scorie très basique. Pendant la fusion de la fonte, on maintient dans le four une atmosphère très oxydante, qui contribue à conserver à la scorie une énergie suffisante.

La proportion de minerai est telle que, après affinage complet, la scorie ne renferme que fort peu de sesquioxyde de fer : on réglera donc cette quantité suivant la rapidité d'allure du four et la richesse des fontes. Le poids de chaux à employer est déterminé d'après la pureté du minerai et la richesse de la fonte en silicium ; ce procédé permet d'effectuer la déphosphoration, en ajoutant une proportion suffisante de chaux.

Lorsqu'on veut produire des aciers durs en partant de fontes non phosphoreuses et de minerais purs, il est inutile de pousser l'affinage jusqu'à décarburation complète ; la proportion de minerai doit être alors plus faible que pour la fabrication d'acier doux. Malgré une teneur en carbone supérieure à 0,3 0/0, il est possible d'effectuer une légère déphosphoration, grâce à la basicité de la scorie et à la vive affinité de l'anhydride phosphorique pour le ferrite de chaux qu'il décompose.

Une opération faite pour la production d'acier dur dans un four de 40 tonnes a donné les caractéristiques suivantes :

	Si	C	Mn	Ph	Fe
Composition de la fonte....	0,9	3,5	0,50	0,09	
— du minerai....				0,05	62

HEURES	DÉSIGNATION		SCORIE						MÉTAL			
			SiO^2	Al^2O^3	CaO, MgO	MnO	Fe^2O^3	Ph^2O^5	Si	C	Mn	Ph
		kg										
12h00	Chargement de chaux......	4.500.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	— minerai....	8.500.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
3h00	Fusion de la scorie.		4,5	4,0	29,0	12,0	50,0	0,05	»	»	»	»
3h15	Chargement de fonte......	40.000.	»	»	»	»	»	»	0,90	3,50	0,50	0,09
5h00			7,5	4,5	32,0	20,0	35,0	»	0,55	1,25	0,34	0,09
6h00			12,0	5,0	38,0	24,0	20,0	»	0,22	0,80	0,28	0,07
7h00			15,0	5,5	41,0	27,0	10,5	»	0,10	0,55	0,22	0,05
8h00			16,0	6,0	43,0	30,0	4,0	0,8	0,04	0,30	0,20	0,04
8h00	Additions finales :		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Ferromanganèse à 50 0/0...	800.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
8h10	Coulée du métal : acier	42.000.	»	»	»	»	»	»	0,08	0,35	0,80	0,04

La charge totale de fonte et additions donne ainsi un rendement de 103 0/0, et la réduction du minerai s'effectue sur 35 0/0 du fer qu'il contient. Lorsqu'on produit de l'acier doux, il est nécessaire de faire de nouvelles additions de minerai quand l'énergie oxydante diminue.

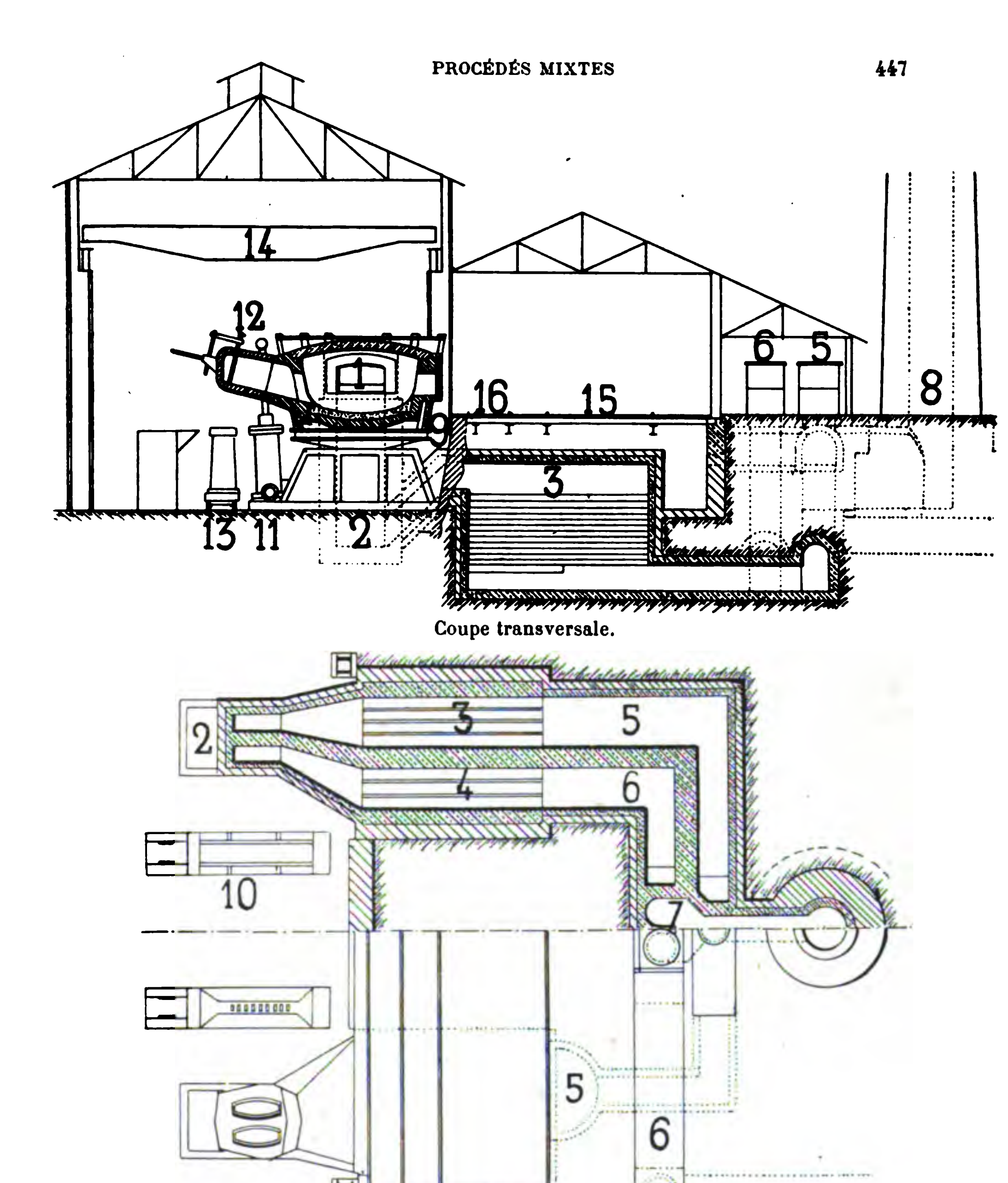
Il est possible de charger la fonte liquide, ce qui est particulièrement avantageux lorsque les fours Martin sont à proximité de hauts fourneaux. La fonte liquide peut également provenir de cubilots, mais l'emploi de ces derniers a moins d'avantages, parce qu'une partie du métal passe dans la scorie, ce qui n'a pas lieu dans la fusion directe sur la sole du four.

Lorsqu'on emploie la fonte liquide, l'affinage éprouve des phases différentes. Le four n'est pas refroidi par le chargement du métal et par sa fusion, aussi la combinaison du carbone est-elle exaltée, et se produit-elle immédiatement. Cette méthode conserve dans la fonte le silicium et le manganèse, de sorte qu'elle permet de travailler avec des fontes moins riches en ces éléments ; la déphosphoration en est elle-même favorisée, car le carbone, disparaissant rapidement, laisse aussitôt s'exercer l'action de la scorie basique sur le phosphore du métal.

La réaction de la fonte liquide et de la scorie est d'ailleurs si intense qu'il est nécessaire de la modérer : on ne doit pas attendre que la scorie basique de minerai et de chaux soit complètement fondue, car la combinaison serait trop rapide ; la fonte est chargée dès que l'agglomération des produits s'est faite. L'opération d'affinage a ainsi lieu progressivement par dissolution lente de la masse de scorie qui couvre la sole. La durée de l'opération se trouve réduite de tout le temps que nécessiterait la fusion de la fonte, et le rendement calorifique du four s'en trouve augmenté.

AFFINAGE CONTINU SUR SOLE. — PROCÉDÉ TALBOT

Fours oscillants. — Le procédé *Talbot* est une modification du procédé au minerai. Il permet d'opérer l'affinage avec une rapidité plus grande encore, par élévation de la température au moment où se fait la réaction. On parvient à conserver dans le four cette température en y chargeant la fonte liquide, et en y laissant à chaque coulée une grande partie de la charge qu'il contient.



Coupe transversale.

Plan et coupe horizontale des chambres et des carneaux.

Four oscillant Wellmann.

1. Laboratoire du four. — 2. Carneaux à air et à gaz aboutissant aux têtes du four. — 3. Chambre de récupération à air. — 4. Chambre de récupération à gaz. — 5. Carneaux à air; vannes de réglage et d'inversion. — 6. Carneaux à gaz; vannes de réglage et d'inversion. — 7. Carneau de fumée. — 8. Cheminée. — 9. Armatures du four. — 10. Paliers d'oscillation. — 11. Cylindre hydraulique de manœuvre. — 12. Poche de coulée reliée au chenal. — 13. Lingotière. — 14. Pont roulant. — 15. Voie de la machine à charger. — 16. Voie des wagonnets de la charge.

La condition de ne couler à chaque opération qu'une partie seulement du métal implique l'emploi d'un four mobile, dont on puisse relever le chenal de coulée comme on le fait avec un convertisseur. Pour que chaque opération comporte un poids important de métal comparable à celui d'un four ordinaire tout en laissant la majeure partie dans le four, l'appareil doit avoir une grande capacité.

Les fours oscillants sont d'invention antérieure au procédé Talbot; *Campbell* monta les premiers appareils de ce type en 1889, à la *Pensylvania Steel C°*. Le four Campbell est composé de deux parties: 1° les récupérateurs et les brûleurs fixes; 2° un laboratoire oscillant, construit dans une cage métallique qui pose sur des galets. L'oscillation s'effectue autour de l'axe longitudinal du four, sur des arcs de cercle composés de galets, au moyen d'un cylindre hydraulique double agissant sur un arc denté; elle peut atteindre de 50 à 60°, et permet de vider le four complètement, ou de l'incliner pour faciliter la charge. Les carneaux de gaz et d'air, fixes, sont refroidis par un courant d'eau; ils laissent entre le laboratoire et leur extrémité un jeu assez grand pour qu'il n'y ait pas de coïncements, mais qui, laissant pénétrer l'air extérieur, est une cause de refroidissement. Lorsque le laboratoire est incliné, les murs qui le limitent masquent en partie les brûleurs fixes.

Le four *Wellmann* comporte également un laboratoire bâti dans une armature métallique; mais son mouvement est obtenu différemment. Il repose normalement par deux semelles sur des supports plans; l'oscillation autour d'un axe disposé du côté du chenal de coulée se fait au moyen d'un cylindre hydraulique oscillant, dont la tige de piston est articulée à la cuirasse du laboratoire. Les récupérateurs sont placés sous la plate-forme de chargement et fort allongés; ils aboutissent au niveau de la sole du four. Ils sont surmontés par les brûleurs que protègent des cuirasses; un cylindre hydraulique peut donner à ces brûleurs, montés sur des galets, un léger déplacement longitudinal. Pendant la fusion, tant que le four repose sur ses semelles, les brûleurs sont pressés contre le laboratoire; lors de l'inclinaison de la sole pour la coulée, on les retire en arrière, après avoir intercepté le passage de l'air et du gaz: on supprime ainsi le jeu et par suite les rentrées d'air. L'inclinaison du four n'est possible que d'un seul côté, et son amplitude ne dépasse guère 25°.

Pour des opérations intermittentes, on peut compléter ces fours par une poche de coulée adaptée au four même, devant le chenal, et portant ses busettes et ses quenouilles. Celles-ci sont verticales

quand le four est incliné convenablement pour la coulée; on peut ainsi, sans l'intermédiaire de poche, le vider dans des lingotières portées par des trucks qui circulent sur une voie parallèle aux fours.

Ces fours ont trois portes de chargement dont le cadre glisse dans une rainure ; à cause de leurs dimensions, ces portes sont soulevées par un cylindre hydraulique monté dans la carcasse du four. Chacune a une lunette à glissières qui permet de suivre l'opération sans lever la porte.

Le garnissage est basique : briques de magnésie recouvertes de plusieurs couches de dolomie posées à chaud. Par suite de l'inclinaison du four dans les manœuvres, les piédroits risquent de s'effondrer; aussi leur donne-t-on un fort talus tel que le parement soit vertical lorsque le four atteint son inclinaison maxima.

Le four employé par Talbot dans le procédé continu est une modification du four Wellmann. Le chenal de coulée débouche au fond de la sole, et le trou est assez bas pour que, seules, les couches inférieures de métal puissent s'échapper. Sur l'autre face sont trois portes : la porte centrale est munie d'un chenal au niveau du bain pour permettre l'écoulement de la scorie; les deux autres sont disposées pour qu'on puisse y adapter un chenal destiné au chargement de fonte liquide.

Dans les fours de grande capacité, les dimensions que doivent avoir les vannes de fermeture les rendent sujettes à des détériorations; aussi doit-on recourir aux appareils qui servent dans les conduites de vent chaud des hauts-fourneaux ; les sièges de soupapes sont formés d'un anneau de fonte à circulation d'eau ; les soupapes elles-mêmes sont creuses, et reçoivent un courant d'eau par l'intérieur de la tige de manœuvre, creuse aussi.

La construction des fours oscillants est plus coûteuse que celle des fours fixes, à cause des appareils de manœuvre du laboratoire et des carneaux à gaz, mais ils sont d'un usage plus facile. Grâce aux mouvements que peut prendre le four pour l'écoulement de la scorie et du métal, les refroidissements extérieurs sont diminués : il en résulte une réduction dans la dépense de combustible. La température reste dans le four plus régulière, ce qui a un double avantage : la scorie ferrugineuse peut être moins riche en fer tout en conservant des propriétés oxydantes suffisantes, et la dislocation des garnissages par les alternatives de température est sensiblement atténuée. La facilité d'écoulement de la scorie permet de n'en conserver à chaque

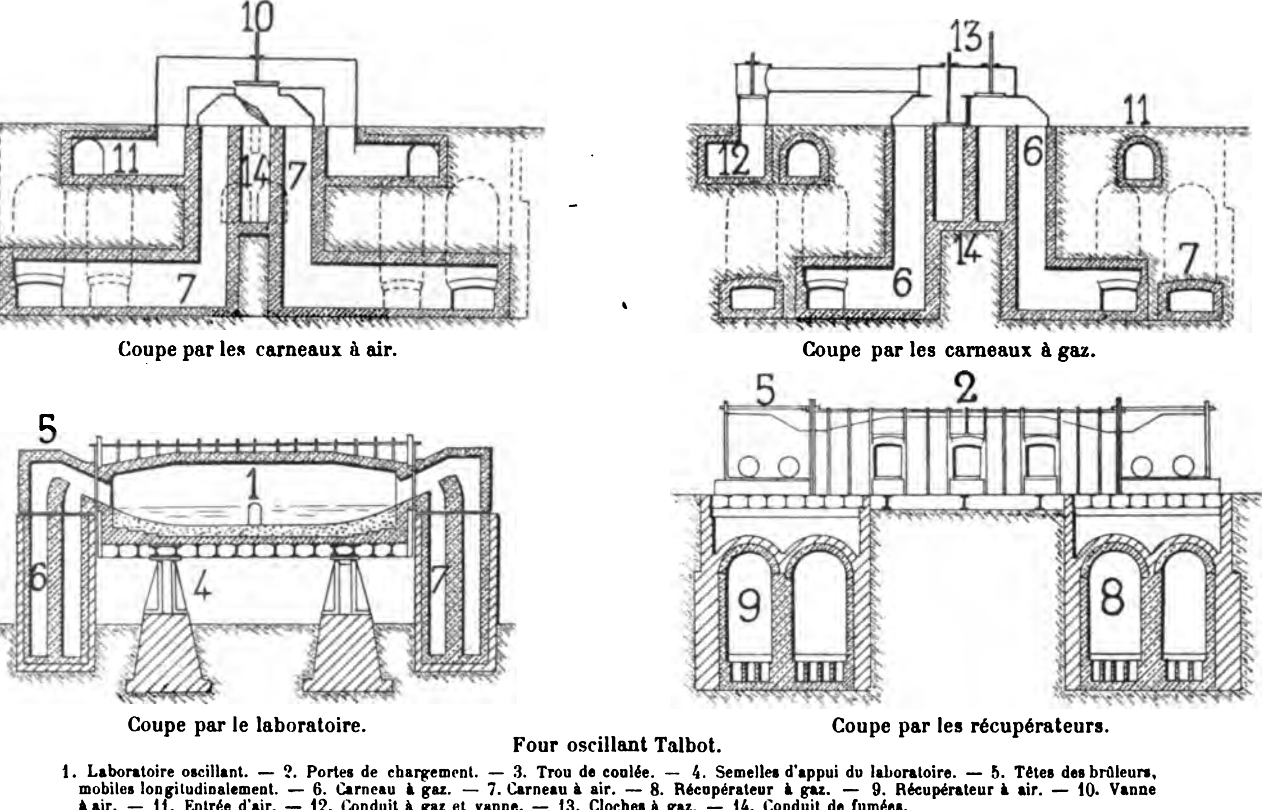
instant que l'épaisseur nécessaire sur le métal, ce qui accroît encore la rapidité du chauffage.

Le trou de coulée restant toujours au-dessus du niveau du métal, il suffit de le couvrir de matériaux peu conducteurs, simplement pour éviter le refroidissement; on économise ainsi les matériaux basiques nécessaires au bouchage des fours fixes, ainsi que le temps qu'exige ce travail. La préparation du chenal s'effectue pendant l'opération elle-même ; comme il est toujours libre, on est certain de couler en poche à un instant précis, soit quand l'opération est au point, soit quand la nécessité s'impose dans le but d'éviter une avarie. Quel que soit l'état d'entretien de la sole, on peut toujours la vider complètement de la scorie en l'inclinant suffisamment; elle tend donc peu à se garnir et à diminuer la capacité du four. Les réparations du laboratoire et en particulier des piédroits sont faciles à exécuter, puisqu'il est toujours possible d'incliner le four pour que le travail, fait dans de bonnes conditions, ait une solidité assurée.

Enfin, si pendant la coulée on désire interrompre l'écoulement du métal, il suffit de relever le four, ce qui peut être fait instantanément. C'est là un des avantages qui imposent presque le four oscillant pour le procédé continu d'affinage sur sole.

Pratique du procédé Talbot. — Le four est mis en marche comme dans le procédé ordinaire, par chargement de fonte liquide, de minerai et de castine, de manière à le remplir sensiblement à sa capacité normale. On procède à la coulée en poche, sans toutefois faire dans le four les additions manganésées dont la majeure partie serait perdue, puisqu'elle resterait dans le métal conservé au four où elle n'aurait aucune utilité. La poche étant amenée sous le chenal, on verse environ 30 0/0 du poids total de la charge. Les matières réductrices sont ajoutées dans la poche pendant qu'on y coule l'acier ; elles peuvent être solides ou liquides, suivant la qualité désirée de métal; si elles sont solides, on les réduit en menus fragments, et on les porte préalablement au rouge, afin d'obtenir une fusion rapide. Pendant la coulée en poche, les orifices de gaz sont masqués, l'arrivée de gaz et d'air étant interrompue tant que le four n'est pas à sa position normale.

L'opération terminée, on redresse le four. Le niveau du bain, fortement abaissé, a laissé libres les cordons. Comme ce niveau peut varier d'une hauteur de 15 à 18 centimètres, l'usure des cordons se trouve répartie sur une assez grande hauteur ; on les répare soi-



Coupe par les carneaux à air.

Coupe par les carneaux à gaz.

Coupe par le laboratoire.

Coupe par les récupérateurs.

Four oscillant Talbot.

1. Laboratoire oscillant. — 2. Portes de chargement. — 3. Trou de coulée. — 4. Semelles d'appui du laboratoire. — 5. Têtes des brûleurs, mobiles longitudinalement. — 6. Carneau à gaz. — 7. Carneau à air. — 8. Récupérateur à gaz. — 9. Récupérateur à air. — 10. Vanne à air. — 11. Entrée d'air. — 12. Conduit à gaz et vanne. — 13. Cloches à gaz. — 14. Conduit de fumées.

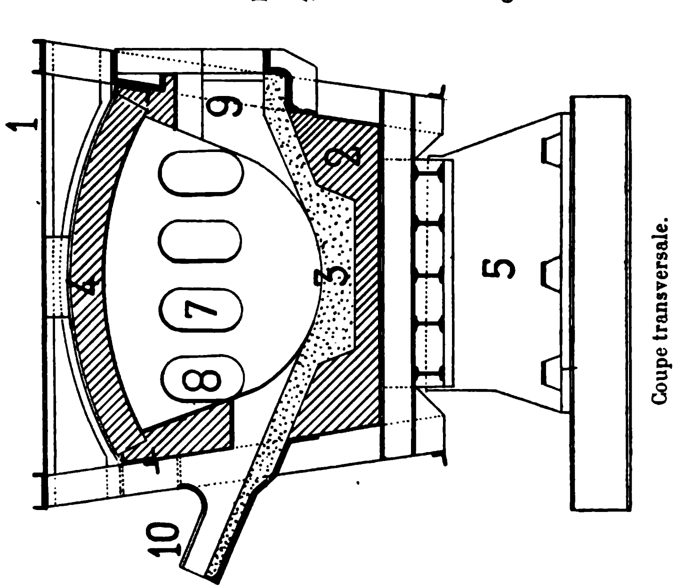
gneusement avec de la dolomie. Dès que le four est remis en ordre, on y envoie de nouveau le gaz et l'air de chauffage. On prépare alors une scorie oxydante pour les nouvelles charges de fonte en chargeant un mélange de battitures et de minerai, dont la fusion donne une scorie riche en sesquioxyde de fer. Les charges sont fractionnées et successives; elles influencent peu la température qui reste élevée et uniforme.

On dispose pendant ce temps, devant une des portes, le chenal par lequel on coule la fonte liquide au moyen d'une poche portée par un pont roulant. Il faut alors suspendre l'arrivée du gaz et de l'air tout en laissant le tirage grand ouvert à la cheminée, car la réaction est très vive, et le carbone, s'oxydant rapidement, donne un abondant dégagement d'anhydride carbonique et surtout d'oxyde de carbone, grâce à la haute température et à l'excès de réducteur. La charge de fonte représente de 10 à 15 0/0 seulement du poids d'acier qui reste dans le four, aussi son arrivée ne refroidit-elle pas le bain, dont la température reste constante ; d'ailleurs, on envoie de nouveau le gaz dès que l'effervescence s'est calmée.

L'affinage se porte surtout sur le carbone ; le silicium, le manganèse et le phosphore sont peu oxydés; l'allure ressemble à celle d'une opération Thomas faite avec une cornue et une fonte chaudes. La scorie s'est appauvrie en fer par la réduction d'une partie de son protoxyde ; avant qu'elle ne se sature de nouveau et se peroxyde aux dépens du métal, on l'élimine en partie en inclinant le four du côté de la plateforme de chargement ; elle s'écoule par le bec du chenal à crasse dans des cuves placées en sous-sol entre les deux groupes de récupérateurs.

Afin de continuer un affinage rapide, on reforme aussitôt, par additions de minerai et de castine, une scorie peroxydée, puis on verse une nouvelle quantité de fonte équivalente à la première. Il faut de deux à quatre additions successives de fonte pour remplir le four comme il l'était avant la coulée d'acier. Le dernier versement de fonte est suivi d'un affinage analogue à celui des fours fixes, jusqu'à suffisante décarburation.

Le procédé Talbot est susceptible de variantes. On peut charger en une seule fois la quantité de fonte correspondant à la coulée d'acier qui vient d'être faite (93 0/0 environ de ce poids); comme elle est versée à 1.200° dans un four porté à 1.650° environ, et qu'elle se trouve en contact avec un poids de métal à peu près double, la température se relève rapidement. Le silicium et le manganèse s'oxydent

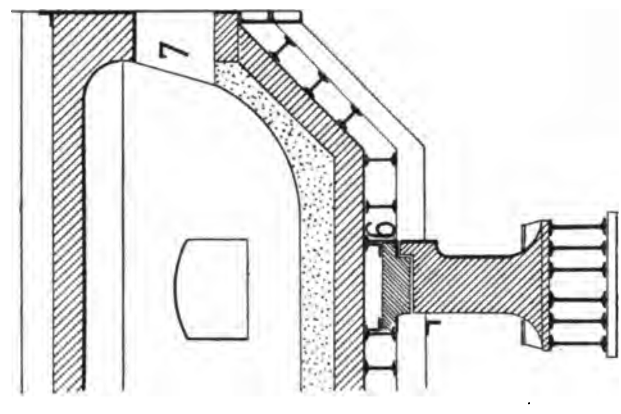


Coupe transversale.

Four Talbot de Pencoyd.
Pencoyd Iron Works, États-Unis.

1. Cuirasse du four. — 2. Garnissage en briques de magnésie. — 3. Garnissage en dolomie. — 4. Garnissage en brique de silice. — 5. Supports du four. — 6. Semelle d'appui. — 7. Carneaux à air. — 8. Carneaux à gaz. — 9. Porte de chargement. — 10. Chenal de coulée.

Capacité : 75 tonnes.



Coupe longitudinale. — Tête du laboratoire.

lentement, parce que la scorie est peu oxydante et que le métal est lui-même assez carburé ; si en effet celui qui est resté dans le four avait encore 0,15 0/0 de carbone et la fonte ajoutée 3,50 0/0, la teneur moyenne du mélange est d'environ 1,25 0/0. Lorsqu'une bonne décarburation a déjà relevé la température, on enrichit la scorie en oxydes au moyen de minerai, de battitures et de castine : en opérant par petites portions, on modère la réaction tout en conservant une chaleur constante. D'ailleurs, la réaction est favorisée par ce fait : le métal épuré, plus dense, descend sur le fond de la sole, tandis que la partie encore carburée reste à la surface en contact avec la scorie. Lorsque la proportion de carbone est voisine de 0,30 0/0, on fait évacuer une grande partie de la scorie, et on force l'addition de castine pour hâter la déphosphoration.

Le procédé Talbot permet donc une décarburation rapide analogue à celle des convertisseurs. La désulfuration ne peut pas être pratiquée au four, mais doit l'être au haut-fourneau ou au mélangeur. Cependant, on peut l'effectuer partiellement si la quantité de soufre est trop grande, en ajoutant du minerai manganésifère riche au lieu de minerai de fer, à la fin de la décarburation, en même temps qu'on pratique la déphosphoration.

L'intervalle des coulées est de six à sept heures ; il y a avantage à l'augmenter, en faisant des coulées plus importantes : on peut atteindre jusqu'à 40 0/0 de la charge totale du four. La production est plus grande, et il n'en résulte qu'une installation supplémentaire dans les appareils de coulée.

Le rendement en acier est de 107 0/0 du poids de la fonte, grâce au minerai et aux battitures ajoutés. Il est d'autant plus élevé que le minerai est plus riche et que le métal contient moins de phosphore, une augmentation du poids de la scorie causant toujours une perte de fer.

L'acier produit ne présente cependant pas toutes les garanties de qualité que donne l'acier sur sole, à cause de la désoxydation et de la recarburation en poche ; il se rapproche plutôt de l'acier de conversion. Le procédé Talbot convient donc pour la fabrication d'aciers de qualité courante ; l'incertitude même du poids de métal versé dans la poche de coulée ne permet pas de garantir une nuance déterminée dans d'étroites limites.

On peut aussi appliquer ce procédé lorsqu'on n'a pas de fonte liquide. Le chargement se fait en gueuses au moyen d'une machine, après formation de la scorie, mais la production du four

est alors réduite et la dépense en combustible est plus élevée. La fusion au cubilot n'est elle-même qu'un pis-aller; si comme combustible elle est moins coûteuse, elle cause d'un autre côté une perte importante de métal dans la scorie. Le four Talbot doit donc être alimenté de préférence par des hauts-fourneaux, auxquels il est bon d'adjoindre un mélangeur comme régulateur et comme appareil de désulfuration.

Ce procédé d'affinage convient aux usines dont les hauts-fourneaux sont insuffisants pour alimenter un groupe Bessemer.

Application aux fours fixes. — Des fours fixes, disposés en conséquence, peuvent aussi employer cette méthode. Ils sont percés à des hauteurs différentes, de deux ou trois trous de coulée non superposés sur la même verticale, le trou inférieur restant au milieu de la sole; chaque trou, muni d'un chenal, se bouche comme à l'ordinaire. Le seuil de la porte du milieu est agencé pour être élevé ou abaissé suivant le niveau de la scorie; c'est par là que s'effectuent les décrassages.

La conduite de l'appareil est la même que celle d'un four oscillant dans lequel on fait les additions de fonte par fractions. Quand l'affinage est terminé, on procède à la coulée en débouchant l'un des trous supérieurs; il est choisi de telle sorte qu'il laisse dans le four une quantité voulue de métal, mais une incertitude assez grande règne quant au poids de métal écoulé.

Les additions désoxydantes sont faites dans la poche. Les coulées sont très fortes, sans dépasser néanmoins 55 0/0 du poids total.

Ces fours n'ayant jamais une grande capacité (20 à 35 tonnes), on y charge ordinairement la fonte solide, et on augmente leur production en y repassant des chutes ; on prépare d'abord la scorie, puis on charge les chutes, et enfin la fonte qui, fondant peu à peu, s'affine progressivement. Certains fours, obligés de fonctionner avec une forte proportion de fonte, peuvent ainsi donner une surproduction par cette méthode de travail.

AFFINAGE PNEUMATIQUE SUR SOLE

Les premières expériences de Bessemer sur l'affinage pneûmatique furent effectuées dans un creuset : on enfonçait les tuyères

dans le bain pour les retirer après l'affinage. Les convertisseurs fixes furent une modification de ce procédé, la quantité de métal sur laquelle on opérait étant suffisante pour qu'on puisse supprimer le chauffage extérieur du four.

Le principe de l'affinage par insufflation dans un four fixe a été repris par Wurtemberger et actuellement encore par divers métallurgistes. Dans un four Martin à sole creuse, on charge de la fonte liquide, ou bien on l'y fond comme dans un réverbère ordinaire, tout en conservant une flamme oxydante qui commence l'épuration. On introduit ensuite dans le bain, à la partie la plus creuse de la sole, un faisceau de tuyères garnissées de produits réfractaires, inclinées à 45° et raccordées à une machine soufflante par des tuyaux flexibles. Elles ne sont enfoncées qu'à moitié à peu près de la profondeur du bain pour que l'air injecté ne vienne pas frapper la sole; l'air s'échappe des tuyères en bouillonnant et oxyde le métal avant d'atteindre la surface. Lorsque l'épuration est à peu près terminée, on retire l'appareil d'injection tout en conservant le vent jusqu'à sa sortie du four; l'affinage est ensuite achevé comme à l'ordinaire.

Cette méthode, qui a pour elle la simplicité, ne s'est cependant pas répandue par suite des difficultés matérielles de l'exécution. On ne peut garantir les parois de la sole d'une usure rapide ; la voûte surtout souffre des projections de scorie, et les cordons se détériorent rapidement, ainsi que les tuyères. On préfère opérer l'affinage dans des appareils séparés appropriés à leur but.

PROCÉDÉS DUPLEX

Procédé de Witkowitz. — Pour assurer la conservation des soles, on a recours à deux appareils distincts : chacun d'eux, construit pour le rôle qu'il doit remplir, travaille avec son activité maxima. La fonte est d'abord, dans un convertisseur, débarrassée de son carbone, de son silicium et d'une partie de son phosphore ; le métal est ensuite versé sur la sole d'un four Martin où s'effectue la fin de l'opération. On obtient ainsi rapidement un acier de qualité supérieure, tout en conservant d'ailleurs la faculté d'augmenter la production du four par des charges de ferraille et de chutes de laminoir.

Lés fontes de l'usine de Witkowitz (Autriche-Hongrie) renferment 0,3 0/0 au plus de phosphore, quantité trop faible pour une conver-

sion basique. Tout d'abord, on pratiqua la conversion double. La fonte était produite au haut fourneau en allure très chaude, avec 2 ou 2,5 0/0 de silicium ; elle était affinée dans un convertisseur acide jusqu'à décarburation presque totale, puis on la coulait immédiatement dans un convertisseur basique où s'effectuait la déphosphoration. Cette méthode hybride donnait théoriquement de bons résultats, mais elle entraînait des dépenses exagérées. Le convertisseur basique devait avoir la même capacité, au moins, que l'autre, et, comme il ne fonctionnait que durant quelques minutes, il se refroidissait dans l'intervalle des coulées. De plus, si le silicium n'était pas suffisamment enlevé par la première opération, il attaquait le garnissage basique.

Depuis 1890, le procédé duplex pratiqué dans cette usine comprend le convertisseur acide complété par un four Martin basique. La température finale de l'acier étant obtenue par le gaz, il n'y a pas lieu de produire beaucoup de chaleur dans la conversion.

Une charge de 10 tonnes de fonte contenant :

	Pour 100
Si	1,2
Mn	2,5
C	3,5
Ph	0,25

est soufflée en dix minutes jusqu'à complète désiliciation. La composition du métal est alors :

	Pour 100
Si	0,1
Mn	0,4
C	0,15
Ph	0,28

On le coule immédiatement sur la sole du four Martin, où s'achève l'affinage au moyen de castine et de minerai. L'opération, y compris la coulée, dure trois heures : chaque four Martin fait donc 4 coulées par poste. Il n'est pas possible de décarburer davantage au convertisseur en vue d'augmenter la production ; la fluidité du métal en serait diminuée et l'oxydation se porterait sur le fer qui serait brûlé.

La fonte de Witkowitz, étant peu phosphoreuse, demande l'emploi d'une cornue acide; mais, avec d'autre fonte, on peut accoupler un

convertisseur et un Martin, tous deux basiques. L'opération est alors plus rapide ; la déphosphoration est poussée dans la cornue jusqu'à ce que le métal ne renferme plus que :

	Pour 100
Ph	0,15 à 0,20
Mn	0,25
C	0,08

On le coule en poche et on le verse aussitôt sur la sole, qui a déjà reçu la chaux et des chutes. Le métal reste liquide grâce au phosphore : ce qui en a brûlé a élevé la température, ce qu'il en reste donne de la fluidité.

Critique du procédé duplex. — On obtient par cette méthode une qualité supérieure à celle que donne la conversion, et sans avoir besoin de recourir à des fontes aussi chaudes ; mais la perte de métal est plus sensible. La conversion rend en métal 88 0/0, la perte au feu portant sur la scorie et les projections ; la première phase du procédé duplex subit à peu près la même perte ; mais, le four Martin ne rendant que 92 0/0 du métal chargé, il en résulte qu'après la double opération le rendement n'est plus que de 81 0/0.

Une marche économique du convertisseur exige des opérations fréquentes ; comme l'affinage sur sole dure trois heures, il faut donc au moins trois fours en marche pour traiter le métal fourni par une cornue. Si l'on travaille avec addition de chutes, la capacité de la cornue doit représenter au moins 7 dixièmes de celle du four, ou bien elle doit lui être au moins égale si l'on opère avec la fonte seule. Il est vrai qu'on pourrait employer un convertisseur de faible capacité, dont trois ou quatre opérations successives fourniraient le métal nécessaire à une charge du four ; mais il y aurait des pertes de temps et des irrégularités dans l'affinage. Enfin, pour pouvoir effectuer les réparations, il est nécessaire d'avoir deux cornues, et l'installation en est coûteuse.

Le procédé duplex ne se justifie donc que dans le cas d'une fonte silicieuse, mais peu phosphoreuse, comme l'est celle de Witkowitz.

Procédé Kernohan. — Dans ce procédé, le convertisseur est remplacé par un appareil fixe, formé d'un couloir réfractaire incliné dont la sole est garnie d'une ligne de petites tuyères débouchant dans une boîte à vent. Cette sole est constituée par des blocs formés d'une armature métallique où sont enchâssées des tuyères noyées

dans un garnissage en pisé; l'inclinaison des tuyères est en sens inverse de celle du couloir, ce qui tend à contrarier l'écoulement du métal. Les blocs, montés sur des galets, sont serrés les uns contre les autres par une presse hydraulique, et complètement enfermés dans la boîte à vent. Le couloir peut être parcouru dans toute sa longueur par une flamme de gaz produite à son extrémité inférieure.

La fonte, versée au moyen d'une poche ou d'un mélangeur au sommet du couloir, s'écoule lentement en couche mince, pendant qu'on donne le vent dans les tuyères. La pression du vent et la direction des filets gazeux tendent à faire refluer le métal; l'oxydation est intense et accompagnée de projections qui retombent le long des parois du couloir. La fonte effectue sa descente en 4 ou 6 minutes, selon la pression du vent; elle est reçue au bas du couloir dans une poche qui la porte au four Martin.

L'appareil Kernohan a pour avantages une moindre dépense d'installation et d'exploitation, et la possibilité d'employer des fontes pauvres en éléments réducteurs. Mais, comme tous les procédés duplex, il ne se prête pas à une production limitée.

Procédé duplex Talbot-Martin. — Les inconvénients du duplex avec convertisseurs et ceux du Talbot simple disparaissent simultanément lorsqu'on combine un four Talbot et des fours Martin à sole fixe. Un premier affinage de la fonte avec du minerai ou des battitures a lieu dans un Talbot, puis on coule une partie du contenu pour alimenter un Martin fixe, sur lequel, pour augmenter la production, on peut refondre des ferrailles et des chutes. Le métal y acquiert les qualités que donne le four à sole.

Les avantages du Talbot sont marqués. Grâce à sa continuité, le four oscillant sert en même temps de mélangeur; il conserve le métal jusqu'au moment de son emploi dans le four fixe, et, si le séjour doit être prolongé dans le premier, il peut être abrégé d'autant dans le second. De même qu'au mélangeur, il est possible de désulfurer partiellement les fontes soit au moyen de manganèse, soit, ce qui est économique, par des minerais natifs de manganèse qui jouent le double rôle d'oxydants et de désulfurants.

La température élevée et uniforme du four oscillant favorise une décarburation rapide, et la promptitude de la réaction la rend incomplète, ce qui est préférable pour terminer l'affinage dans le second four. La scorie qui provient de la première oxydation du silicium et

du manganèse se formant dans le premier four, il en résulte que les fours fixes exigent peu de réparations; d'ailleurs cette scorie, qui se trouve combinée à une masse considérable d'oxydes métalliques, n'a plus qu'une action corrosive affaiblie.

Les deux fours conservent une température à peu près constante, le premier par sa continuité, le second en raison du chargement de métal chaud et de l'intervalle restreint entre les opérations; c'est une circonstance favorable pour l'économie de combustible et la conservation des fours.

Le four fixe peut aussi refondre de la fonte froide et des chutes, mais il est préférable de n'y charger que du métal partiellement affiné. D'ailleurs, selon ses moyens de production et ses approvisionnements, chaque usine modifiera l'intensité de l'affinage sur chacun des fours, et l'expérience indiquera la marche la plus économique; les variations dans la composition des charges porteront uniquement sur celles des Martin fixes, car le four Talbot ne fonctionne rationnellement que s'il est uniquement alimenté de fonte liquide.

Comparaison des procédés duplex et des procédés simples. — Soit une usine produisant 300 tonnes de fonte à 0,2 0/0 de phosphore et devant utiliser elle-même ses chutes, rebuts de fabrication et boccages, dont le poids, 75 tonnes, est le quart de celui de la fonte.

1° Le duplex Bessemer-Martin doit être établi ainsi :

Deux convertisseurs acides de 12,5 tonnes, faisant 24 opérations par vingt-quatre heures, et rendant 265 tonnes de métal mi-affiné;

Trois fours Martin basiques de 15 tonnes, faisant chacun 8 opérations en vingt-quatre heures, soit au total 24 opérations. La charge de chacun comprendra 11 tonnes de métal mi-affiné et environ 3 à 3,5 tonnes de chutes et boccages. La production totale sera de 310 tonnes de lingots.

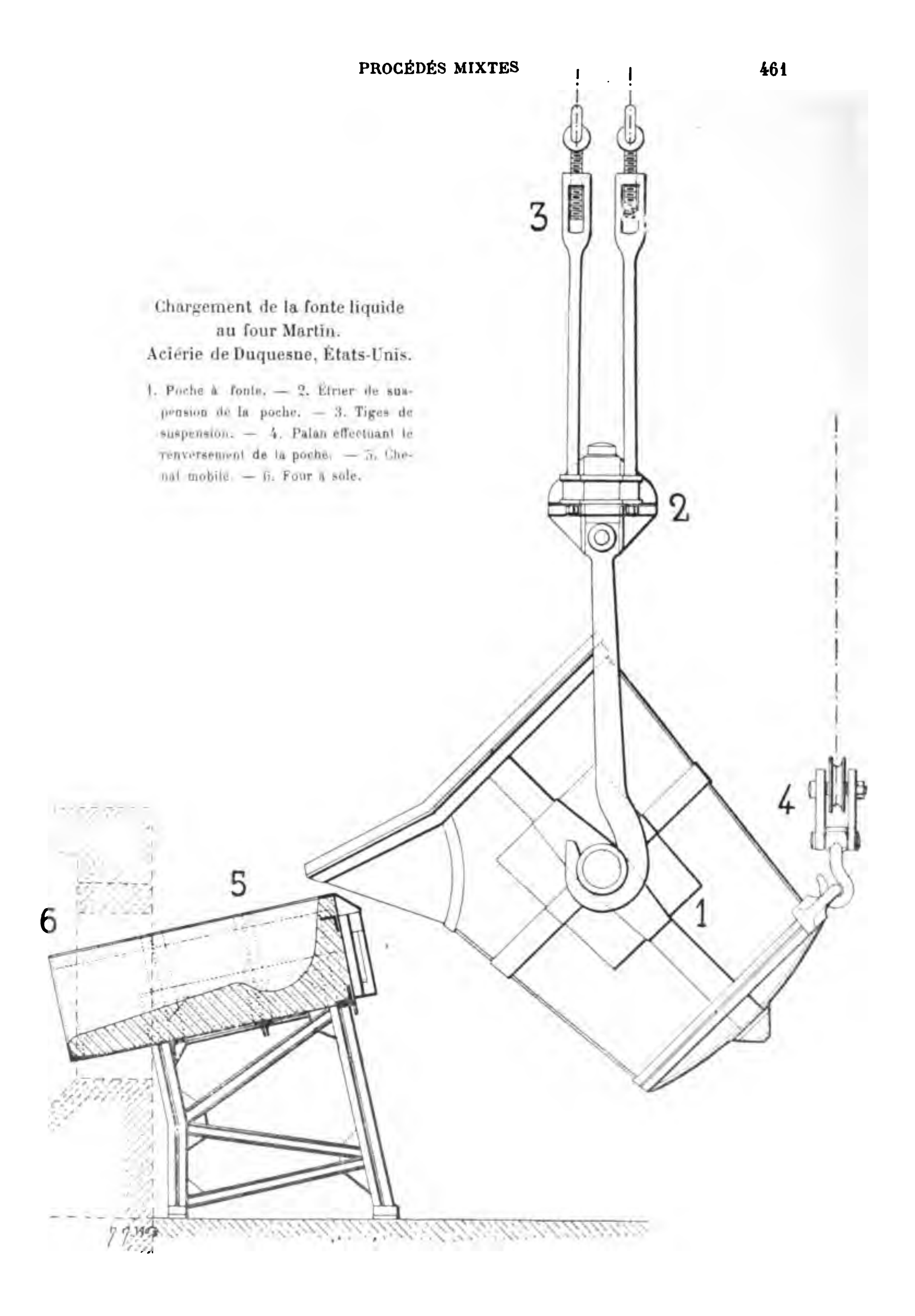
2° Le duplex Talbot-Martin aura :

Un four oscillant de 100 tonnes, donnant 320 tonnes de métal décarburé, réparties en 15 à 18 coulées de 18 à 20 tonnes;

Trois fours fixes de 25 tonnes chargeant 18 à 20 tonnes de métal mi-affiné et 4 à 5 tonnes de chutes, et faisant chacun 5 ou 6 opérations par vingt-quatre heures. Production totale : 360 tonnes de lingots.

3° Le procédé Talbot seul eût exigé 2 fours oscillants de 200 tonnes produisant chacun, par vingt-quatre heures, 6 coulées de 30 à 35 tonnes; mais on n'obtiendrait ni les qualités, ni la variété de nuances que peuvent donner les fours fixes.

4° Enfin le procédé au minerai demanderait 6 fours de 25 tonnes,



Chargement de la fonte liquide au four Martin. Aciérie de Duquesne, États-Unis.

1. Poche à fonte. — 2. Étrier de suspension de la poche. — 3. Tiges de suspension. — 4. Palan effectuant le renversement de la poche. — 5. Chenal mobile. — 6. Four à sole.

faisant chacun 3 ou 4 opérations en vingt-quatre heures, et traitant par coulée 16 à 18 tonnes de fonte liquide et 4 à 5 tonnes de ferraille. Le rendement serait de 375 à 380 tonnes de lingots.

PROCÉDÉ BERTRAND-THIEL

Le procédé Bertrand-Thiel est, par rapport à la méthode d'opérations distinctes, ce que le compoundage des cylindres à vapeur est au moteur monocylindrique. Il divise l'affinage en deux parties effectuées chacune dans un four : les appareils sont donc accouplés. Un seul pourrait suffire, même avec l'emploi presque unique de fonte, grâce au minerai ; mais il y a un avantage notable à établir deux fours conjugués de mêmes dimensions ; l'un assure la décarburation, l'autre affinage. C'est donc une sorte de procédé duplex.

L'emploi de réactifs conservant constamment une affinité réciproque élevée justifie cette séparation de l'affinage en deux phases. La réaction de deux éléments qui peuvent se combiner dans un milieu est d'autant plus rapide qu'ils sont en plus grande proportion dans ce milieu ambiant, et en présence de corps inertes en moindre quantité. Ainsi, pour citer un exemple connu, l'oxygène pur est plus comburant que l'air, et l'ozone, par sa densité plus grande, sera supérieur à l'oxygène ; au contraire, des fumées de four contenant encore de l'oxygène le rendent incapable de s'unir totalement avec un combustible, par la dilution de l'oxygène dans une grande masse de gaz inertes. De même, si les deux corps sont dans un rapport très différent de celui qui régit leur combinaison, plus le premier sera en excès, et plus l'autre subira une transformation rapide et complète : on sait qu'un excès d'air passant sur du carbone incandescent donnera de l'anhydride carbonique et quelques traces d'oxyde de carbone, mélangés à l'oxygène non employé, tandis qu'on a des résultats inverses avec un excès de charbon.

La fonte est mise, dans le four primaire, en contact avec une quantité de minerai exactement suffisante pour oxyder les éléments étrangers qu'elle renferme. Au début, la réaction est rapide ; mais, comme aucun des éléments n'est en excès, elle décroît peu à peu et finit par n'être plus apparente. Une partie du minerai a été réduite, et son fer s'est ajouté au métal du bain ; le reste a conservé l'état d'oxyde

et a saturé les acides formés dans l'affinage de la fonte ; la scorie produite n'est ni oxydante ni réductrice : elle restera donc à peu près inactive.

Pour continuer l'oxydation du métal, il faudra augmenter la peroxydation de la scorie soit au moyen de l'atmosphère, soit par une addition d'oxydes, vu la faible proportion d'éléments réducteurs subsistant dans la fonte ; c'est pourquoi la fin de la décarburation et celle de la déphosphoration sont très lentes dans le procédé continu à un seul four. On éliminera la majeure partie de la scorie avant de rendre plus active celle qui reste : on évite ainsi une dépense de minerai qui agirait en pure perte sur un poids de scorie superflu ; de plus, le chauffage du bain est favorisé par la moindre épaisseur de la crasse.

Mais, tandis que dans le procédé au minerai ou dans le four Talbot la scorie est évacuée du four, c'est, dans la méthode Bertrand-Thiel, le métal qu'on fait sortir, pour le séparer plus complètement et ne garder avec lui que la quantité strictement nécessaire de scorie. Les grandes dimensions des fours Talbot permettent d'enrichir la scorie par chargement de matières froides sans amener un refroidissement trop sensible, mais il n'en serait pas de même avec des fours plus petits ; les matières nouvelles avec lesquelles on mélangera le métal mi-affiné devront être préalablement portées au rouge et même fondues. Aussi l'emploi d'un second four est-il nécessaire.

Ce dernier four n'a pas un rôle limité au complément d'oxydation qui fait l'objet de son emploi ; il est également utilisé à la refonte de chutes et de ferrailles. La charge a été faite pendant que l'affinage suivait son cours dans le four primaire, de sorte qu'au moment où l'on y verse le métal mi-affiné, les chutes sont déjà portées au rouge et ont donné naissance à une scorie peu abondante, mais fort oxydée. La fin de l'opération y est conduite comme dans un four simple.

L'usure des appareils est réduite : le four primaire, qui subit les principales réactions, est en contact avec une scorie peu rongeante ; dans le four secondaire, la corrosion est plus à redouter à cause de l'activité de la scorie, qui heureusement ne s'y trouve qu'en faible quantité ; sa réparation est d'ailleurs facile dans l'intervalle des charges, pendant que le premier four est en cours d'opération.

La conduite de l'affinage est réglée de telle sorte que les deux fours aient la même rapidité de travail. Si, par exception, le second se trouve inactif, on emploie ce répit à la refonte de chutes, jusqu'au moment où le métal mi-affiné peut y être versé. Deux fours

groupés de 15 tonnes font 8 opérations par vingt-quatre heures, soit 120 tonnes, tandis que, fonctionnant isolément, les deux fours ne produiraient que 100 tonnes environ.

Suivant la composition des fontes traitées ou la nuance de l'acier à obtenir, on modifie l'allure respective de chaque four, en favorisant dans le premier, soit le départ du carbone, soit la déphosphoration. L'oxydation du carbone s'accroît, au delà de 1.400°, plus rapidement que celle des autres éléments ; aussi, dans la réaction de la fonte et du minerai, c'est l'oxyde de carbone qui domine de beaucoup. Avec une fonte ayant plus de 0,4 0/0 de phosphore, il faut s'attacher à produire une déphosphoration presque complète dans le premier four, pour n'avoir à conserver que peu de scorie dans le second, ce qu'on obtient par une température plus faible du premier. Au contraire, l'affinage de fontes pauvres en phosphore, et destinées à donner des aciers extra-doux, impliquera une température élevée au four primaire.

Il est à remarquer que la valeur thermogène des divers réducteurs est différente, dans le four Martin et les procédés au minerai, de celle qu'ils possèdent dans les appareils de conversion. Dans ces derniers, la chaleur utilisable est produite par la réaction de l'oxygène, déduction faite de celle qui est absorbée par l'azote. Au four à sole, la réduction de l'oxyde de fer prend une partie importante de la chaleur de combinaison ; si l'on admet que l'oxygène est fourni par le protoxyde de fer, on arrive aux conclusions suivantes :

CORPS RÉDUCTEURS	POIDS DE FER RÉDUIT PAR UN KILOGRAMME de réducteur	CALORIES MISES EN LIBERTÉ par la double réaction
	Kilogrammes	
Si	4,0	+ 2.430
Mn	1,1	+ 360
C	4,7	— 3.870
Ph	4,5	— 175

La forte réaction exothermique du silicium, dès la mise en contact de la fonte et du minerai, précipite son départ. On porte rapidement le premier four à une haute température en le chargeant de fonte liquide prise au haut-fourneau ou même au cubilot ; la fonte froide produirait dans l'allure de l'affinage un retard et une modification, dont les conséquences seraient plus sérieuses que l'établissement d'un cubilot.

Les poches employées pour le chargement de la fonte et du métal en traitement sont d'égale capacité. Comme on ne doit introduire dans le four secondaire que la quantité indispensable de scorie, on vide la poche par une busette, comme pour l'acier; afin de simplifier le matériel, on procède souvent de même pour charger la fonte. Devant l'une des portes du four, on dispose un couloir mobile portant un bassin au-dessus duquel on amène la poche; la coulée est ainsi régulière, peut être interrompue quand arrive la scorie, et permet d'obtenir dès le début et de maintenir une température élevée dans chacun des fours.

Une usine qui dispose par vingt-quatre heures de 300 tonnes de fonte liquide et de 75 tonnes de chutes ou boccages se composera de trois groupes (en marche) de 2 fours semblables, ayant une capacité de 18 à 20 tonnes, et faisant 7 à 8 opérations en vingt-quatre heures. Dans chaque groupe, les opérations seront conduites de la manière suivante :

Four primaire. — *12h 00.* — Le four contient 2,500 tonnes de minerai à 62 0/0 de fer (minerai des hauts-fourneaux) et 1,600 tonne de chaux concassée. Le mélange, porté au rouge, s'est partiellement combiné. On charge alors 18 tonnes de fonte liquide, renfermant :

Si	0,50
Mn	0,75
C	3,40
Ph	0,80

1h 30. — La composition du métal est alors :

Si	0,06
Mn	0,30
C	2,20
Ph	0,30

Pour activer l'oxydation du métal, on ajoute en plusieurs fois, à des intervalles de quelques minutes, 500 kilogrammes de minerai.

3h 00. — Le bain est de composition telle qu'elle ne varierait guère par des additions nouvelles de minerai.

Métal		Scorie	
Si	0,04	SiO^2	13,0
Mn	0,12	Ph^2O^5	16,5
C	1,05	Fe	7,0
Ph	0,10		

On élimine la majeure partie de la scorie et on coule en poche.

3h 15. — Réparation du four primaire et chargement de minerai et de castine pour l'opération suivante.

Four secondaire. — *2h 30.* — Réparation du four après la coulée. Chargement de 1.100 kilogrammes de minerai, 500 kilogrammes de chaux concassée et 3,500 tonnes de boccages, rebuts et chutes diverses.

3h 15. — Chargement de 18 tonnes environ de métal mi-affiné. La réaction est moins vive qu'au four primaire.

5h 00. — Décrassage superficiel pour favoriser le chauffage. Composition du bain :

Métal		Scorie	
Si	0,02	SiO^2	11,0
Mn	0,01	Ph^2O^5	3,5
C	0,19	Fe	9,0
Ph	0,05		

5h 30. — Additions finales :

	Kilogr.
Ferromanganèse à 80 0/0	120
Ferrosilicium à 24 0/0	40

Le métal contient alors :

	Avant addition :	Après addition :
Si	0,02	0,05
Mn	0,09	0,42
C	0,10	0,11
Ph	0,03	0,03

5h 35. — Coulée en poche de 22,500 tonnes d'acier, soit un rendement de 102 0/0 du poids de métal chargé. A peu près la moitié du fer contenu dans le minerai est venue, après réduction, s'ajouter au métal.

Il est à remarquer que le déchet de fer est assez réduit dans le procédé qui vient d'être décrit, malgré la double scorie. Celle du premier four, la plus importante par son poids, en contact avec un métal encore carburé, est relativement pauvre en fer; comme les oxydes qu'elle contient proviennent du minerai, ils sont moins onéreux que s'ils s'étaient formés par oxydation du métal. D'autre part, la richesse de cette scorie en acide phosphorique lui donne une

grande valeur commerciale ; au contraire, la scorie secondaire, très pauvre, est inutilisable : on la conduit directement au crassier.

L'entretien des fours conjugués est peu coûteux. Une sole en dolomie supporte 1.000 coulées et plus ; les fours eux-mêmes, qui ne sont soumis qu'à de faibles variations de température, durent aussi très longtemps. Ce procédé a donc de nombreux avantages pour les usines qui ont comme matières premières la fonte, les chutes et des rebuts de fabrication. Il est plus simple comme installation que la conversion, et est aussi économique que cette méthode pour les productions inférieures à 300 tonnes.

CHAPITRE XVII

LINGOTS D'ACIER

HOMOGÉNÉITÉ. — SÉGRÉGATION

Le métal liquide, produit des opérations métallurgiques où le fer s'est trouvé en fusion, présente en tous les points de sa masse sensiblement la même composition. L'addition de désoxydants, dans une cornue ou sur une sole, ne donne pas immédiatement un bain de métal homogène; la diffusion s'opère néanmoins assez rapidement, et d'autant plus que la quantité de réducteur est plus forte et la réaction plus exothermique. Une fois que le métal est coulé dans la poche, on peut le considérer comme complètement homogène, grâce aux remous qui ne manquent pas de se produire pendant la chute.

Il est ensuite réparti dans des moules, dont chacun renferme un volume d'acier de composition homogène tant qu'il demeure liquide. Certains phénomènes se produisent pendant la solidification, et donnent au lingot solide un aspect totalement hétérogène; les corps constitutifs autres que le fer sont en proportions différentes dans les diverses régions du lingot, et leur séparation s'est faite suivant deux directions bien nettes. La plus sensible de ces migrations se manifeste en hauteur; on peut l'attribuer à la pesanteur, puisque les corps les plus légers gagnent le sommet. L'autre direction, radiale, est causée par le refroidissement; elle a pour conséquence une augmentation dans la teneur des constituants à mesure que l'on se rapproche de l'axe du lingot. C'est à la tête que ces deux phénomènes sont le plus accentués.

Cette séparation, ou *ségrégation*, ne constitue pas, d'ailleurs, un caractère particulier aux aciers. On l'observe dans tous les corps qui ont subi la fusion, même les minéraux, mais spécialement dans les alliages de métaux : elle porte alors le nom de *liquation*.

La durée de la solidification a la plus grande influence sur la ségrégation. Quelles que soient les causes initiales du phénomène, son intensité sera favorisée par sa lenteur, puisqu'il y a un cheminement des molécules suivant certaines directions. Aussi, ses effets sont-ils beaucoup plus accentués dans des moulages de gros poids, massifs, coulés en sable, que dans de petites pièces obtenues en coquille. La trempe rapide aussitôt après solidification extérieure est un obstacle aux liquations, puisqu'elle fige les constituants en les immobilisant dans leur état instantané.

Une température de coulée élevée favorise la liquation, car elle ralentit la solidification, et permet aux molécules de se mouvoir dans un milieu plus fluide ; aussi les métaux coulés trop chauds donnent toujours des produits peu homogènes. Les centres d'attraction moléculaire ont tendance à se trouver dans la région qui se solidifie la dernière, c'est-à-dire dans l'axe du lingot. Pour les lingots coulés en source, et alimentés par la base, la zône de solidification tardive s'abaisse, et c'est au pied que l'on constate la ségrégation la plus intense, parce que les réactions secondaires ont eu là plus de temps pour s'accomplir.

La pesanteur tend naturellement à faire remonter vers le sommet les constituants de moindre densité, tant que le permet la fluidité interne. La densité du manganèse est voisine de celle du fer, mais il n'en est pas de même pour le carbone, le soufre, le phosphore, dont la ségrégation est la plus forte, bien que le manganèse soit en proportion plus considérable que les autres éléments. Si l'on modifie la position d'un lingot avant qu'il soit complètement solidifié, le point de concentration de la ségrégation s'en trouve déplacé.

Elle s'accomplit d'autant mieux que les corps qui se produisent ont de plus grandes affinités mutuelles. Le carbone présente la ségrégation au plus haut point, par suite des divers états sous lesquels il se combine avec le fer. Aussi le carbone apporte-t-il dans la pratique de sensibles variations dans la résistance du métal ; on en tient compte dans les lingots d'acier très dur pour rails qui, à cause de leur gros volume, donnent des résultats différents de la tête au pied.

Le phosphore se réunit à la tête du lingot, et son action durcis-

sante s'ajoute à celle du carbone. Le soufre accompagne généralement le manganèse, par suite de la formation facile du sulfure manganeux. Il donne dans les lingots de petites granulations, que l'on retrouve et que l'on peut isoler dans les éprouvettes, surtout dans celles qui proviennent de coulées très chaudes. A l'essai de rupture, ces parties ne s'allongent pas : elles restent à grains ; elles contiennent jusqu'à deux fois autant de manganèse que les régions avoisinantes, et du soufre en proportion correspondante ; sans la présence du soufre, on pourrait attribuer ce fait à la présence d'alliages réducteurs incomplètement fondus.

Sur des aciers Thomas extra-doux, la ségrégation a donné, pour certaines coulées très chaudes et très oxydées au soufflage, des poches remplies d'oxyde et de sulfure manganeux, avec agglomération de manganèse et de phosphore sur les parois. Le laminage en tôles minces de lingots dont les têtes présentaient ces inclusions a donné des tôles dédoublées, exhalant une odeur très nette d'anhydride sulfureux, et, par les temps humides, d'acide sulfhydrique ; l'oxyde de manganèse tapissant les parois des cavités empêche le métal de se souder à lui-même.

Le silicium et le manganèse offrent en général peu de ségrégation, car ils ne tendent pas à former avec le fer des composés définis et plus fusibles.

Pour atténuer les effets de la ségrégation, on augmente autant que possible l'homogénéité initiale du bain, ainsi que la rapidité de refroidissement des lingots. Si le métal coulé en poche a désormais acquis sa composition finale, si toutes les réactions chimiques qui résultent des additions désoxydantes sont terminées, on diminue naturellement les chances de ségrégation. C'est pourquoi l'on doit éviter de faire des additions dans la poche elle-même. Quant au refroidissement, on ne peut guère l'accélérer qu'en coulant les lingots juste à température convenable ; malheureusement, un refroidissement rapide favorise la production des soufflures à la peau et des criques, et ce sont généralement ces dernières que l'on préfère éviter.

Un lingot d'acier de 350 $\times$ 350 millimètres à la base et de $1^m,50$ de hauteur a donné en différents points les résultats d'analyse suivants :

		POINTS	Mn	Ph	C
			Pour 100	Pour 100	Pour 100
Base	Périphérie ...	1	0,55	0,072	0,12
	Centre.......	2	0,64	0,095	0,15
Milieu ...	Périphérie ...	3	0,55	0,070	0,11
	Centre.......	4	0,68	0,095	0,16
Tête.....	Périphérie ...	5	0,54	0,072	0,11
	Centre.......	6	0,71	0,108	0,19

Il est à remarquer qu'on trouve rarement des résultats aussi nets sur des pièces finies. Cela tient d'abord aux chutes faites, après laminage, aux extrémités, et principalement à la tête. D'ailleurs, ces défauts dépendent surtout de la présence du carbone, et celui-ci a précisément la propriété de se déplacer dans le métal maintenu au rouge, en tendant vers un état d'équilibre général ; il revient donc vers les points d'où l'avait chassé la ségrégation quand le métal était encore liquide. Enfin, les métalloïdes qui présentent des variations notables, soufre et phosphore, sont ceux que l'on cherche à exclure du métal, de sorte que leurs effets sont par cela même encore atténués.

SOUFFLURES

Scintillement et remonte. — Outre les défauts d'homogénéité, les lingots d'acier en présentent de plus graves encore : ce sont des cavités que l'on désigne, quelle qu'en soit l'origine, sous le nom de *soufflures*. Elles sont produites, soit par le dégagement des gaz, soit par la contraction du métal, lors de la solidification et du refroidissement.

Les soufflures peuvent ne pas être écrasées complètement, leurs parois ne pas se souder sous l'action du laminage, particulièrement celles qui renferment des gaz ; on ne peut alors pas compter sur la résistance totale dont le métal serait susceptible, et la section vraiment utile d'un échantillon est ainsi notablement diminuée.

Pendant la coulée et la solidification, des gaz dissous se dégagent, produisant un bouillonnement superficiel et projetant de petites étincelles. Quand le métal est devenu très pâteux, de longs canaux

se forment, par lesquels s'achève le dégagement, entraînant des globules d'acier, et créant des cratères analogues, comme aspect et comme mode de formation, aux cratères volcaniques. Tant que le métal reste liquide, les bulles qui prennent naissance à l'intérieur peuvent gagner la surface ; lorsqu'il s'épaissit, elles le repoussent vers les parties les plus fluides, c'est-à-dire vers l'intérieur ; puis, se formant à la séparation d'une région solide et d'une région pâteuse, elles se développent normalement à la paroi solide, en se dirigeant vers l'intérieur du lingot. Ainsi, un espace occupé par le métal le devient par le gaz ; le métal chassé remonte ; les bulles gazeuses qui l'accompagnent forment des projections en crevant à la surface.

Il y a donc deux dégagements différents de gaz : l'un, au moment de la coulée, par diminution de la solubilité (consécutive de l'agitation et d'un premier refroidissement), donne des étincelles, et, s'il est brusque, une poussée rapide près des parois où la capillarité produit aussi ses effets ; — l'autre se manifestera au moment de la solidification, d'une façon lente, causera la remonte du métal et sera accompagné de projections.

L'acier doux Thomas, ayant été très oxydé, émulsionné par l'air, est sujet à dégager des étincelles. Il est souvent difficile de remplir la lingotière du premier coup ; le métal remonte, puis redescend ; on doit donc alimenter le lingot peu à peu et l'achever quand l'effervescence est calmée. Cela n'empêche pas d'ailleurs le métal de remonter plus tard, au moment de la solidification, surtout si la première effervescence a été modérée par des additions d'aluminium ou de silicium.

L'acier sur sole, au contraire, qui ne contient pas à l'état liquide de gaz en sursaturation, n'étincelle pas ; lors de la prise, la solubilité diminuant, les bulles gazeuses chassent devant elles le métal déjà pâteux : le lingot remonte.

Suivant les circonstances, l'acier peut donc étinceler ou remonter ; diverses causes favorisent l'un ou l'autre de ces phénomènes. Une température de coulée très élevée augmente la solubilité des gaz, qui se dégagent ensuite brusquement pendant la coulée ; elle amène généralement la présence, le long des parois froides de la lingotière, d'une couche de soufflures allongées vers l'intérieur et très voisines de la surface. Ces soufflures présentent des inconvénients au laminage, quand, pendant le réchauffage des lingots, la couche mince qui les recouvrait s'est fondue et les a ouvertes à l'air : elles ne peuvent se ressouder et donnent des criques.

Avec une coulée très froide, le métal devient rapidement pâteux et remonte davantage.

Le mode de production de l'acier a aussi son influence : l'acier le plus vif, le plus soufflé, sera l'acier de conversion, à cause de la rapidité de sa fabrication et du passage du vent à travers sa masse. L'acier au creuset ne dégage que des bulles peu nombreuses, et non seulement il ne remonte pas, mais souvent la tête du lingot se creuse et retasse en suivant les parois de la soufflure centrale.

Au moment de la solidification, le départ des gaz se produit de diverses manières, suivant la rapidité de la prise. Quand celle-ci est lente (avec de gros lingots), le dégagement s'opère assez vite pour que le gaz traverse le métal avant solidification complète : on est donc peu exposé à le voir remonter. Si la prise est rapide (faibles dimensions des lingots, parois des lingotières trop froides ou trop épaisses), la remonte s'ensuit avec formation d'une tête spongieuse. Si l'on veut retarder la solidification en *pompant* le métal qui remonte, c'est-à-dire en l'agitant avec une baguette de fer, on provoque souvent, au moment où on plonge le fer froid, une explosion locale produite par une montée brusque des gaz le long de la baguette, et d'autant plus violente que l'acier est plus doux.

Les gaz qui s'échappent pendant la coulée sont bien différents de ceux que le métal conserve en dissolution après solidification, qualitativement et quantitativement. Un métal doux de composition normale, qui ne remonte pas, dégage un volume de gaz (ramené à 0°) deux à trois fois supérieur au sien propre (soit 15 à 22 fois son volume à la température de coulée). La composition de ces gaz de coulée s'écarte de celle des gaz que le métal dégage par le forage à froid ou le chauffage dans le vide, ce qui semble indiquer que le pouvoir dissolvant par rapport à l'oxyde de carbone devient presque nul pour le métal solide. Les gaz de coulée comprennent deux groupes : 1° oxyde de carbone ; 2° hydrogène et azote. Le premier renferme plus de la moitié du gaz total susceptible de se dégager, pour un métal doux basique ; cette proportion diminue à mesure que le métal a été moins oxydé et reste plus carburé. Dans le second groupe, c'est généralement l'azote qui se trouve en plus faible proportion (de 0,05 à 0,15 du volume total).

Voici des analyses volumétriques d'échantillons de gaz recueillis pendant la solidification :

	GROUPE CO			GROUPE H		
	CO	CO^2	TOTAL	Az	H	TOTAL
Acier Thomas doux........	70	3	73	7	20	27
— — dur.........	51	5	56	8	36	44
— Bessemer doux......	40	4	44	9	47	56
— — dur.......	37	2	39	8	53	61
— Martin basique.......	49	3	52	14	34	48
— — acide........	42	4	46	12	42	54

Il est à observer que les compositions centésimales ci-dessus éprouvent de profondes altérations lorsqu'elles sont estimées pondéralement : en raison de sa faible densité, l'hydrogène ne possède dans l'ensemble qu'un poids inférieur à celui des autres corps.

Les soufflures ne peuvent prendre naissance que si le métal est assez pâteux pour empêcher les gaz de s'élever à la surface ; donc, suivant la manière d'être du métal au point de vue physique, la position et le nombre des soufflures seront variables. Les bulles gazeuses qui les forment ont trois origines distinctes : diminution de la solubilité dans le métal solide ; — réaction des additions carburées sur un métal encore oxygéné ; — entraînement mécanique par émulsion ou occlusion pendant la coulée.

La proportion d'air entraîné mécaniquement est très faible.

Les réactions des additions peuvent à la rigueur expliquer la formation de l'oxyde de carbone, mais non celle de l'hydrogène et de l'azote ; d'ailleurs l'intensité du dégagement augmente quand, au contraire, diminue l'influence que pourraient avoir les additions. On a remarqué que l'acier très chaud remonte beaucoup, et on a attribué ce fait à l'action du carbone sur les parois oxydées des lingotières : c'est peu probable, car c'est l'acier extra-doux qui remonte le plus et c'est précisément le moins riche en carbone. La réaction susdite, ne pouvant d'ailleurs se produire que sur les parois, serait arrêtée aussitôt après formation d'une croûte solide. De plus, on évite presque entièrement la remonte avec des lingotières à surface lisse.

La diminution de solubilité reste donc la cause presque unique des dégagements gazeux. Les gaz qui se produisent pendant que le lingot étincelle sont très riches en oxyde de carbone, dont la teneur domine pendant la remonte ; étincelles et dégagement d'oxyde de carbone semblent être deux phénomènes liés l'un à l'autre. Les calmants, tels que le manganèse, le silicium, l'aluminium, n'agissent

pas uniquement par réaction; leur influence est généralement plus réductrice que celle du carbone aux températures de la coulée, et leur proportion plus considérable: ils sont donc plus en situation que le carbone pour réduire l'oxygène qui reste dans le métal, mais ils devraient rester sans action sur les gaz non oxygénés s'ils avaient un simple rôle désoxydant.

Un acier Bessemer, renfermant encore après soufflage une quantité assez élevée de silicium, 0,20 0/0 par exemple, ne devrait ni remonter, ni dégager d'oxyde de carbone, puisqu'il possède assez de silicium pour être désoxydé; au contraire, un métal basique à 0,03 0/0 ou moins encore de silicium se calme immédiatement dès qu'on lui ajoute un tant soit peu de silicium. Le silicium préexistant, même à forte dose, semble donc inactif, tandis que celui qu'on ajoute a une influence considérable.

Tous les calmants paraissent augmenter la solubilité des gaz dans l'acier liquide ou solide. Soit un métal renfermant beaucoup de gaz, qu'il laisse échapper lors d'une diminution de la solubilité (par agitation ou solidification); si à ce moment on y fait une addition de calmant, le pouvoir dissolvant se trouve augmenté et le dégagement gazeux cesse. Il est certain que le silicium ou l'aluminium réduisent une partie de l'oxyde de fer qui subsiste et évitent la production d'oxyde de carbone en se substituant au carbone, mais ce n'est pas leur principale action; en effet, pour un lingot qui sans eux dégagerait plusieurs fois son volume de gaz avant solidification et en conserverait autant à froid, la moindre augmentation de solubilité suffit à réduire considérablement le volume des gaz de coulée, qui ne sont plus qu'une faible partie du gaz total occlus.

L'action des calmants ne semble pas expliquer pourquoi les gaz de coulée renferment plus de la moitié de leur volume d'oxyde de carbone, et qu'il n'en reste que très peu dans les gaz recueillis dans les soufflures sur le métal froid. Il est probable que l'oxyde de carbone est résorbé par le métal, à travers lequel il se diffuse à la température du rouge plus facilement que les autres gaz; il peut être aussi, entre 700° et 300°, décomposé en carbone libre et oxygène, ce dernier étant absorbé par le fer. Il est possible enfin que la diminution de solubilité de l'oxyde de carbone dans le métal solide soit beaucoup plus considérable pour ce gaz que pour le groupe de l'hydrogène, et que par conséquent la majeure partie en soit expulsée.

Le silicium et l'aluminium sont les deux calmants dont l'usage est le plus répandu. Le premier s'ajoute dans le métal fini, juste avant

la coulée et souvent même dans la poche ; en raison de son influence dissolvante, il produit bien plus d'effet à ce dernier moment. Avec le silicium, la surface du métal n'étant agitée par aucun dégagement gazeux se fige rapidement, ce qui tend à augmenter l'importance de la soufflure centrale.

L'aluminium, qu'on emploie pour un acier très mousseux, annule la poussée brusque des étincelles tout en laissant le métal assez vif pour que le dégagement gazeux continue lentement; une légère remonte a lieu aux derniers moments de la solidification, et réduit ainsi notablement la cavité de retassement qu'elle remplace par une série de soufflures dans la zône moyenne de la section transversale. La proportion d'aluminium que l'on ajoute est généralement trop faible pour assurer une solidification sans soufflures, car l'aluminium en excès donne des criques au laminage; l'addition ne doit pas dépasser 4 millièmes, surtout pour les aciers durs.

Les coulées qui tendent à remonter avant solidification sans projeter d'étincelles ne doivent pas être traitées à l'aluminium, qui, en augmentant momentanément la solubilité jusqu'à une solidification partielle, nuirait d'abord au dégagement naturel des gaz et serait ensuite impuissant à l'empêcher. On agitera la surface des lingots de ces coulées avec une baguette de fer froide, pour favoriser l'expulsion gazeuse qui se manifeste par de grosses bulles ; les coulées présentant ces phénomènes sont dites grasses.

Malgré les calmants, des soufflures se produisent presque inévitablement quand le métal passe par l'état pâteux ; leur position et leurs formes dépendent des circonstances qui ont accompagné leur naissance, et particulièrement de la température de coulée. Avec des métaux fort au-dessus de leur point de congélation, coulés en moules bons conducteurs, une surface très mince se prend immédiatement au contact de la lingotière ; dans cette zône, la solubilité diminue et tend aussitôt à provoquer le dégagement gazeux, surtout s'il n'y a pas eu addition de calmant; des bulles se forment et restent emprisonnées dans la surface figée.

La solidification se poursuivant, les couches métalliques se refroidissent, se sursaturent de gaz, puis le laissent suinter, d'autant mieux que les bulles vésiculaires, au fur et à mesure qu'elles se forment, se réunissent par attraction moléculaire à la bulle primitive. L'influence du rayonnement de la lingotière reste perpendiculaire à la surface, et les soufflures se forment normalement à la paroi du lingot.

Si une partie du gaz se dégage lorsque la pression intérieure acquiert une valeur suffisante et que la fluidité du métal le permet encore, les soufflures se ferment légèrement ; dans le cas contraire, elles s'élargissent en entonnoir. Elles cessent de se transformer quand la température du lingot est voisine du point de congélation.

Avec une coulée moins chaude, la couche qui se solidifie contre les parois de la lingotière atteint rapidement une assez grande épaisseur ; l'intérieur du lingot étant moins fluide, mais encore liquide, les gaz ne restent pas à l'état aussi divisé ; dès que la sursaturation se produit, ils se réunissent en bulles assez grosses, mais à une plus grande distance des parois que les petites soufflures des coulées trop chaudes.

Une coulée très froide pousse ces phénomènes à l'extrême.

Soufflure centrale. — Quand l'intérieur du lingot est près de se solidifier, l'influence de la lingotière devient à peu près nulle ; la prise ne s'effectue pas suivant les surfaces de refroidissement, mais d'une manière confuse, les axes de cristallisation étant orientés en tous sens. A ce moment intervient la seconde cause de formation des soufflures, la contraction provenant du refroidissement. L'acier liquide prend, au moment de la coulée, exactement le volume de la lingotière froide sur laquelle se fige une couche mince de métal ; pendant la prise, la lingotière s'échauffe et se dilate ; le lingot se contracte, en se séparant de la lingotière. Avec de longs lingots coulés lentement, cette séparation peut même se faire avant que le lingot soit entièrement coulé, et devenir la cause de fentes superficielles.

La contraction de la région extérieure du lingot tend à ramener les angles vers l'intérieur, agit en même temps sur les faces planes en prenant appui sur les angles, qui se sont solidifiés les premiers. Malgré le bombement donné intentionnellement aux faces de la lingotière, celles du lingot se redressent et peuvent même devenir concaves.

L'enveloppe extérieure possède bientôt une résistance suffisante pour ne plus être entraînée par la contraction. La cristallisation continuant à se produire en désordre laisse des vides qui n'ont donc pas la même origine que les soufflures périphériques. Comme c'est la région centrale qui reste le plus longtemps liquide, comme le métal non solidifié peut encore alimenter, au moins vers la base du lingot, les parties dont la contraction fait naître des vides, c'est

au centre et au sommet que la soufflure de contraction aura les plus grandes dimensions ; d'où le nom de soufflure centrale.

La position de cette soufflure dépend donc uniquement du mode de refroidissement du lingot; son volume est égal à la différence entre la contraction totale de l'acier liquide et le retrait superficiel des parois du lingot. Le retrait subi par l'acier coulé jusqu'à sa solidification atteint 13 à 14 0/0 de son volume primitif; le retrait linéaire de l'enveloppe ne dépasse pas 2 0/0 (c'est-à-dire un retrait cubique de 6 0/0), ce qui laisse comme cavité totale 7 à 8 0/0 du volume du lingot. Ce retrait n'est pas toujours localisé en un seul endroit. Si au moment de la prise la cristallisation s'effectue selon des surfaces fermées qui isolent des masses de métal, les cavités formées par le retrait de chacune se trouvent séparées du métal liquide; le volume de la soufflure centrale est ainsi diminué de la somme des volumes des soufflures secondaires possédant la même origine.

Ces cavités se remplissent des gaz de la solidification; ils s'y accumulent sous une pression d'autant plus grande que le métal qui les entoure est plus résistant. Si la partie centrale est encore assez fluide pour permettre le dégagement ultérieur de ces gaz (c'est-à-dire provoquer la remonte), sous la pression du gaz des soufflures ainsi formées, le métal s'échappe par le centre du lingot, comble le vide de la soufflure centrale, et vient s'épancher au sommet. La soufflure centrale peut être ainsi supprimée sur une grande partie de la longueur du lingot, et remplacée par des soufflures intermédiaires dans le pied.

Avec de petits lingots dont le refroidissement extérieur est rapide, la soufflure centrale est moindre que dans les gros. Avec des lingots très longs et de faible section, la solidification peut être si prompte que le métal des régions supérieures n'est pas assez fluide pour descendre complètement jusqu'aux cavités de retassement du pied, et par suite pour localiser les soufflures vers le sommet. La soufflure centrale peut en ce cas se prolonger jusqu'à la base du lingot, mais sur une très faible section : des lingots de 110 × 110 millimètres de section et 950 millimètres de hauteur ont présenté une soufflure de 2 millimètres de diamètre sur 600 millimètres de longueur.

Un lent refroidissement donne une soufflure de volume considérable, mais bien localisée vers la tête, soit que le métal ait gagné la base, soit que la remonte n'ait pas eu lieu jusqu'au sommet, à cause de la prise de la surface libre.

Moyens préventifs contre les soufflures. — Comme il est difficile de supprimer ou de diminuer la soufflure centrale ou celles que produit le retassement, on doit se contenter de diriger leur formation vers l'endroit où elles ne seront pas dangereuses.

Le meilleur moyen consiste à munir chaque lingot ou moulage d'acier d'une *masselotte*. D'abord, elle augmente la hauteur du lingot, et par suite déplace la soufflure centrale qui peut même s'y trouver localisée ; en outre, elle permet d'alimenter la partie inférieure en métal chaud, lorsque les vides commencent à s'y former. On augmentera l'influence de la masselotte en la rendant mauvaise conductrice et en la chauffant avant la coulée : pour des lingots destinés à la forge, on munit le haut de la lingotière d'un châssis de masselotte garni de terre réfractaire et porté au rouge au moment de couler. La hauteur de la masselotte est les 3 ou 4 dixièmes de celle du lingot, et son volume de 0,15 à 0,20 0/0, sinon elle serait insuffisante pour abreuver les cavités centrales ; on facilite d'ailleurs la descente du métal en l'agitant avec une baguette de fer pour rompre les cloisons qui se formeraient dans la zône centrale. La partie supérieure de la masselotte est elle-même, dès la coulée, recouverte de sable pour ne pas figer ; on voit très nettement son niveau s'abaisser dès que la solidification s'accentue, puis s'arrêter lorsqu'elle est terminée.

On doit considérer que cette masselotte représente un poids important de métal qu'il faut refondre ensuite, aussi ne l'emploie-t-on pas pour les lingots de laminage. On fait de préférence à la tête du lingot une chute, qui peut atteindre les 3 dixièmes de la longueur totale pour les pièces de qualité supérieure (Cahier des charges du Ministère de la Guerre). Dans la fabrication des poutrelles, on ne lui donne que 10 à 12 centièmes de la longueur utile, en la limitant à la partie qui ne prend pas le profil exact du laminoir, ou qui présente des défauts à la surface.

La *coulée en source* donne moins de soufflures, surtout si la conduite mère est alimentée pendant la contraction. L'ascension du métal dans la lingotière tend à faire dégager les gaz ; mais, d'autre part, sa surface se refroidit la première, se fige et s'oppose au dégagement, si bien que la soufflure centrale peut être reportée au pied du lingot. Si le canal de source se bouche à la base, cette soufflure reste localisée au milieu ; elle constitue un grave inconvénient dans des lingots plats de faible épaisseur destinés à des tôles, qui au laminoir criqueront sans s'allonger.

Le plus simple des moyens préventifs est le *clavetage des lingotières;* on le pratique très simplement pendant la coulée, mais il ne donne malheureusement pas toujours des résultats complets et satisfaisants.

Les moyens mécaniques sont réservés aux pièces destinées à la grosse forge. Dans le *procédé Withworth*, la lingotière, fortement armée de frettes d'acier, est garnie à l'intérieur de segments en fonte superposés, et percés de trous radiaux communiquant avec l'extérieur au moyen de cheminées verticales sur la périphérie des segments; la surface intérieure est recouverte d'une couche de 3 millimètres de sable à noyaux, qui sera perméable aux gaz et les fera évacuer au dehors. La lingotière est montée sur un chariot qui peut être amené au-dessus du piston d'une presse hydraulique, dont le sommier supérieur est de mêmes dimensions que la lingotière dans laquelle il s'engage; ce sommier est lui-même manœuvré par un releveur hydraulique qui lui fait effectuer la course morte avant la compression.

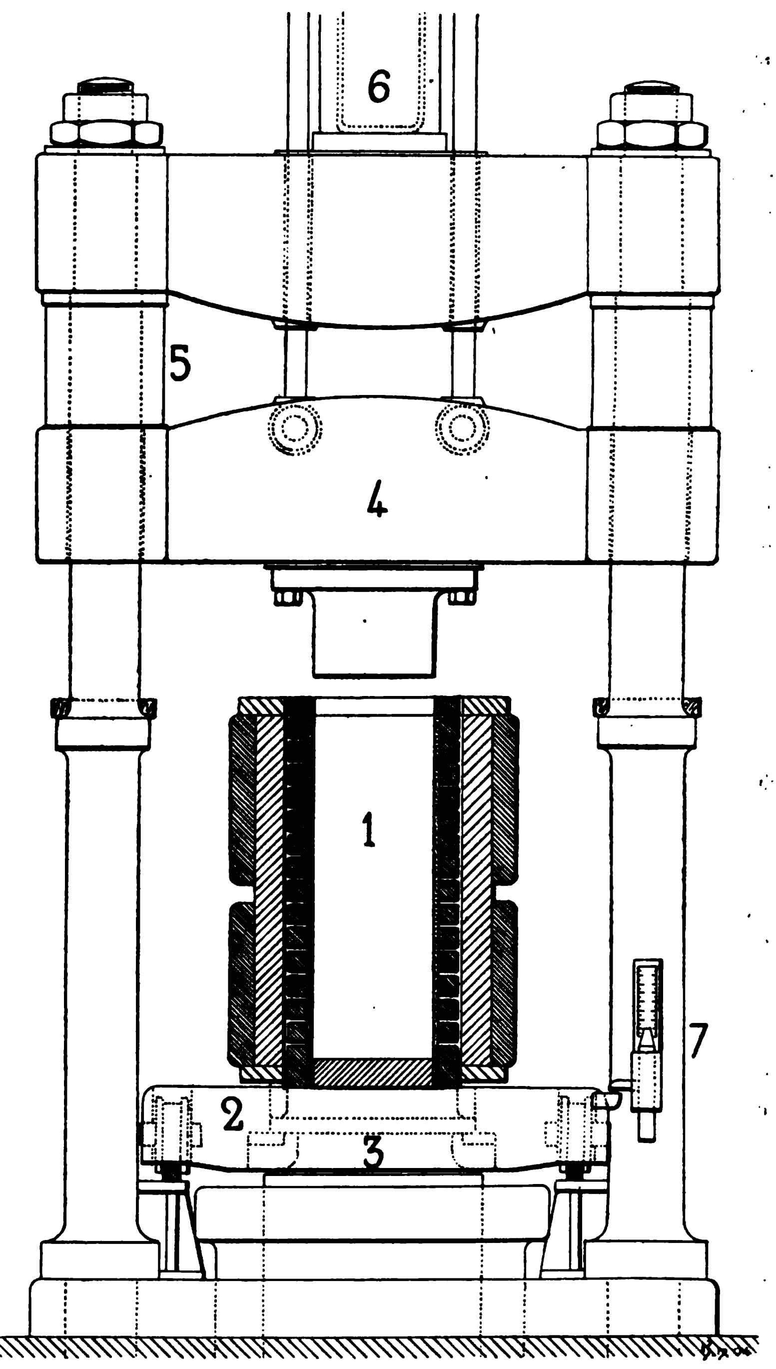
Dès que la lingotière est remplie, elle est amenée avec son chariot entre les sommiers de la presse. On amène le sommier supérieur en contact avec la tête du lingot et on l'assujettit solidement dans cette position, puis on admet l'eau dans le cylindre inférieur, qui, soulevant le chariot et la lingotière, comprime le lingot contre le sommier supérieur.

La pression est de 10 kilogrammes par millimètre de la surface du lingot; elle est maintenue jusqu'à refroidissement. La hauteur du lingot diminue de 12 à 13 0/0, ce qui correspond à un volume sensiblement égal à celui de la soufflure centrale.

En réalité, le système Withworth est une sorte de forgeage effectué sur le lingot déjà solidifié: la pression ne peut pas s'exercer sur l'acier entièrement liquide qui s'échapperait par les évents du garnissage. Le résultat du forgeage à la presse Withworth est analogue au travail du blooming sur des lingots coulés sans masselotte.

Comme ce procédé exige une installation hydraulique considérable, on a cherché à en réduire la puissance. Dans le *système Dlaeen*, on agit seulement sur la masselotte ou sur la mère de source; la course du piston est alors plus grande, puisqu'elle correspond au volume de la retassure centrale. Les résultats ne valent pas ceux du système précédent.

Meilleurs sont ceux du procédé *Harmet*, de Saint-Étienne, mis en



Presse Withworth pour la compression des lingots pendant la solidification.

1. Lingotière frettée. — 2. Chariot porteur de la lingotière. — 3. Piston du cylindre hydraulique de compression. — 4. Sommier de butée. — 5. Cales du sommier de butée. — 6. Cylindre de manœuvre du sommier de butée. — 7. Indicateur de compression.

œuvre avec des appareils semblables à ceux de Withworth. Alors que dans celui-ci la pression ne s'exerce que sur la tête du lingot et ne se transmet que difficilement au centre, dans le système Harmet elle est donnée latéralement sur toute la hauteur. La lingotière, fortement conique, est frettée extérieurement ; le chariot qui la porte l'amène, assitôt après la coulée, sous une presse hydraulique. Un sommier est descendu sur la tête, et la pression est donnée sur la base même du lingot, qui est ainsi coincé dans son enveloppe, comme un fil métallique dans une filière.

Mais, à cause de leur complication, ces divers systèmes ne sont guère adoptés dans la pratique courante des aciéries pour laminage. On préfère couler de très gros lingots, qu'on passe au blooming pour en resserrer les pores : on en affranchit la tête d'une partie assez grande pour laisser dans les chutes la soufflure de retassement.

Conséquences des soufflures. — Dans les pièces destinées au laminage, l'influence des soufflures n'est pas toujours aussi nuisible qu'on pourrait tout d'abord le redouter ; mais, pour les pièces moulées, il faut apporter tous ses soins à les éviter, d'où qu'elles proviennent.

On constate, dans les lingots étirés par martelage ou laminage, que les soufflures qui sont près de la surface s'oxydent, soit par diffusion à chaud des gaz à travers la mince paroi qui les protège, soit parce que le réchauffage suffit pour percer et mettre à l'air ces cellules en nid d'abeilles. Elles se remplissent alors d'oxyde de fer et de scorie, et ne soudent plus au laminage : c'est là l'origine de criques fines et rapprochées ou de pailles.

Les soufflures internes et surtout la soufflure centrale sont des défauts d'autant plus graves qu'ils ne sont guère visibles. Si la tête du lingot se trouve soufflée, on l'enlève par une chute suffisante ; ces soufflures apparaissent sur les profilés minces, par leur refroidissement plus rapide, sous forme de taches noires, dès le laminage terminé. Le dédoublement qui provient de leur aplatissement apparaît jusqu'aux dernières limites du laminage : on le retrouve dans des tôles de $0^{mm},4$ aussi nettement que sur les gros échantillons, et même sous forme d'un tube central dans du fil d'acier provenant des billettes tirées d'un lingot de 2.000 kilogrammes. Le cisaillage à froid décèle ce dédoublement plus sûrement encore que le sciage à chaud.

Lorsque les soufflures sont petites et isolées, les gaz qu'elles renferment acquièrent par le chauffage une pression qui, au laminage en tôles minces, cause des boursouflements analogues à ceux de la

pâte en fermentation, apparaissant dès la sortie du cylindre. La partie ainsi soufflée est inutilisable.

Les parois des soufflures ne se soudent pas, parce qu'elles sont oxydées, et quelquefois aussi parce que, de plus, elles sont remplies d'occlusions minérales de composition variable. C'est alors une poussière brune ou verte, agglomérée en morceaux de la grosseur d'une noisette, et qui provient d'une liquidation d'oxydes et de sulfures de fer et de manganèse. Le laminage les allonge et produit sur les tôles un dédoublement; lorsqu'on les ouvre, elles dégagent une odeur d'hydrogène sulfuré. Elles se forment souvent dans les coulées d'acier très doux mousseuses renfermant encore de l'oxyde de fer libre; il y a eu pendant la solidification continuation de la réaction du manganèse et ségrégation de ces produits.

On a trouvé, dans des lingots de 2.000 kilogrammes, des globules pesant jusqu'à 15 grammes et contenant :

FeO	—	78
MnO	—	14
S	—	2,5
P^2O^5	—	0,6

Ils étaient cantonnés autour de la soufflure centrale, à la tête et au milieu du lingot.

Le remède est une forte addition de manganèse, et de l'aluminium qui joue le double rôle de calmant et de réducteur.

DÉFAUTS SUPERFICIELS

Criques. — Les lingots peuvent présenter à leur surface des défauts physiques qui les rendent impropres à tout usage. Les plus fréquents sont les *criques*, longitudinales ou transversales.

Assez rares d'ailleurs, les criques longitudinales proviennent, au refroidissement, de la contraction des angles; solidifiés les premiers, ils tendent à se rentrer vers le centre, en conservant leur forme. Ce sont, par suite, les faces planes ou légèrement bombées qui travaillent le plus; leur surface se refroidissant plus vite que l'intérieur, il peut y avoir une rupture longitudinale, surtout quand la lingotière est très épaisse et absorbe ainsi par conductibilité une partie

importante de la chaleur superficielle. Une couche extérieure remplie de soufflures qui enlèvent toute solidité à la paroi du lingot est sujette aux criques, car la faible conductibilité des gaz occlus nuit à l'uniformité du refroidissement. On empêchera la formation de ces criques au moyen de lingotières bombées dans lesquelles la contraction des angles redresse les faces du lingot en diminuant leur largeur. Il est bon également de chauffer les lingotières vers 80° avant la coulée.

La contraction est aussi la cause ordinaire des criques transversales. La contraction longitudinale, qui peut atteindre 2 0/0, ne s'effectue spontanément que si le lingot est libre de glisser dans sa lingotière; mais, s'il est retenu en haut par un défaut du moule, il reste suspendu et tend à s'arracher sous son propre poids. Avec des lingotières défectueuses ou de conicité insuffisante, la rupture a lieu quelquefois en plusieurs points et met le lingot hors d'usage. On y remédie en rejetant les lingotières dont les parois internes ne sont pas lisses; les lingots très longs par rapport à leurs autres dimensions sont portés à criquer; aussi ne dépasse-t-on pas cinq fois le côté pour les petits lingots carrés jusqu'à 250 millimètres, et 4 fois ce côté pour ceux de 400 millimètres.

Les bavures qui se forment pendant la coulée quand on passe d'une lingotière à l'autre causent aussi des fentes transversales; elles s'appuient sur la tranche supérieure de la lingotière et maintiennent le lingot suspendu. Il en est de même si le jet, brûlant la paroi de la lingotière, la soude légèrement au lingot qu'elle retient.

Pendant la prise, des criques intérieures se produisent si le lingot est soumis à des chocs violents qui détruisent la cristallisation en cours et déplacent les soufflures. Pour le réchauffage dans les pits, on conserve toute la chaleur des lingots en les démoulant aussitôt; mais, s'ils subissent dans ces manutentions des inclinaisons ou des chocs, ils sont exposés à donner des rebuts. Aussi vaut-il mieux les transporter jusqu'aux cellules de réchauffage dans la position verticale qu'on leur conserve après démoulage au stripper; ce dernier appareil est devenu presque indispensable pour approvisionner des fours verticaux.

Les lingots chargés froids dans les fours roulants de réchauffage y reposent sur une face; bien qu'on les retourne très fréquemment, ils reçoivent la flamme inégalement. Il en résulte des dilatations irrégulières et des criques intérieures, surtout dans l'acier dur plus compact, dont les déchirures ne se ressoudent pas facilement. Le

réchauffage de l'acier Martin, qui a peu de soufflures, est aussi plus délicat que celui des lingots de métal Thomas, toujours quelque peu poreux.

Le forgeage entre surfaces planes, au pilon ou dans des cannelures plateuses de laminoir, donne plutôt des criques, même après retournement, qu'un martelage en étampe ou sous cannelures ogivales. Sur les éprouvettes de coulée forgées au pilon par retournement sur deux faces perpendiculaires, la soufflure centrale et les diverses couches de solidification présentent la forme d'une croix suivant les diagonales du carré.

Mauvaises têtes. — Dans des coulées mousseuses, le violent dégagement des gaz donne lieu à une montée brusque du métal, qui redescend aussitôt et abandonne sur la paroi une mince couche solidifiée portant le nom de *tige de botte*. Tout moyen qui évitera le dégagement des gaz supprimera en même temps la production des tiges de botte : on a recours aux calmants, à l'aluminium en particulier. On prendra, en outre, diverses précautions : les lingotières froides, par exemple, seront chauffées à 60° ou 80° avant la coulée; celles qui n'ont pas servi depuis longtemps seront débarrassées de la couche de rouille qui, physiquement par contact, favoriserait un dégagement gazeux instantané.

Les lingots qui tendent à remonter projettent du métal à demi liquide : il se fige en un cratère s'élevant peu à peu. On arrête le dégagement en appliquant un couvercle de fonte qui refroidit la tête, ou en clavetant.

Les tiges de botte sont un danger pour les trains en ce qu'elles produisent le dédoublement de la tête et l'enroulement des barres sur les cylindres. Quand elles sont minces, on les entaille à la tranche, et on les coupe sous une presse ou à la masse. Les têtes remontées dites *choux-fleurs*, d'ordinaire poreuses et sans consistance, se détachent sans peine du lingot. D'autres ne s'enlèvent pas facilement à froid, et, si d'ailleurs on peut les couper, elles laissent les soufflures et le centre ouverts à l'oxydation; mieux vaut les passer au laminoir, et les trancher avant la fin du travail. Dans un train blooming, elles ne font qu'augmenter le poids des chutes, sans être une cause de dangers.

Pailles. — Lors de la coulée, le jet éclabousse des gouttes qui adhèrent à la paroi. En montant, le métal les recouvre sans les

fondre complètement : elles y restent attachées, mais non soudées, par suite de l'oxydation de leur surface. Au laminage, elles donnent lieu à des *pailles* légères, mais suffisantes pour faire rebuter les profilés et surtout les tôles ; elles sont bien plus nuisibles dans les lingots plats, car le retournement des blooms au laminage a quelque chance de les détacher. Il est préférable d'enlever au moins les principales, à la tranche, avant l'enfournement des lingots.

Les tôles ont quelquefois des *veines*, pailles très légères, mais longues, provenant également de la coulée : interruption momentanée du jet et soudure incomplète du métal nouveau, ou infiltration d'acier liquide entre le bas du lingot qui se détache du moule et la lingotière qui se dilate ; le métal glisse dans l'intervalle sans se souder. En burinant à froid ce bourrelet, on prévient l'apparition des veines.

CHAPITRE XVIII

COULÉE EN LINGOTIÈRES

LINGOTIÈRES

Profil intérieur. — Les lingots d'acier fondu destinés au laminage ou à la forge ne sont pas coulés dans des moules en sable ; la matière des moules et leur confection occasionneraient d'assez grands frais, d'autant plus qu'ils ne pourraient servir qu'une seule fois. Tous les lingots sont coulés en coquille dans des moules en fonte à fond séparé, dont la forme n'a pas d'influence sur le retrait et permet un démoulage facile sans briser le moule.

Les lingots de laminage ont ordinairement une section rectangulaire ou carrée avec des angles arrondis. La section carrée est réservée à ceux qui doivent donner des profilés, tandis que les tôles et larges plats ont déjà une première ébauche dans les lingots à base rectangle.

Les angles des lingotières sont arrondis dans un double but. D'abord, la fabrication en est plus facile qu'avec un angle vif, et les ruptures sont moins à redouter ; ensuite, le lingot qui se refroidit se détache mieux de la paroi. Le rayon de raccord varie avec la section : 15 0/0 de la longueur du côté pour des lingotières carrées de faible section, 10 0/0 seulement pour les lingots supérieurs à 800 kilogrammes.

Il est préférable de faire les faces légèrement bombées plutôt que planes. Le retrait agit comme le ferait une dépression intérieure, et quelquefois des faces insuffisamment bombées deviennent, après refroidissement, planes ou même concaves. Comme la compacité du métal est moindre au centre que sur les bords, il vaut mieux y suppléer par une épaisseur un peu supérieure, pour que l'étirage aux

cannelures ébaucheuses soit à peu près constant sur toute la largeur. Le rayon de courbure est très grand ; il donne à la largeur maxima 2 à 5 0/0 de plus que le côté originel. Le retrait se produit ainsi librement, et pour les lingots coulés en chute libre on a moins à craindre d'éclaboussures dans les angles, en raison de la direction des remous.

Dans le sens de sa longueur, le lingot est un tronc de pyramide. La conicité est plus prononcée dans les petits lingots pour favoriser leur démoulage : le retrait commençant par la grande base attire le lingot encore rouge dans une partie plus large, où il n'éprouvera pas de frottement. La pente est de 12 à 16 millièmes ; plus forte, elle nuirait au laminage.

La hauteur du lingot est aussi proportionnelle à la section. Un lingot très long relativement à sa base donne souvent des criques transversales, dans lesquelles peut pénétrer l'air qui oxyde les parois chaudes : leur ressoudage intérieur en sera compromis. En général, la hauteur ne dépasse pas trois fois et demie le côté de la base. Cependant, pour de très petits lingots de section inférieure à 220 millimètres de côté, on peut porter la hauteur jusqu'à sept ou huit fois la dimension transversale, mais il faut alors les couler en source ; il vaut mieux aussi, dans ce cas, donner aux parois une inclinaison un peu plus grande, 18 à 20 millièmes.

La section des lingots à tôles est un rectangle dont les dimensions sont dans un rapport variable avec l'épaisseur de la tôle à obtenir. L'épaisseur du lingot sera de trente fois celle des tôles au-dessous de 3 millimètres, vingt fois pour la tôle de 3 à 8 millimètres et quinze fois l'épaisseur de la tôle au-dessus de 8 millimètres. Il vaut mieux pécher par excès que par insuffisance, quoiqu'une épaisseur trop grande impose au laminoir un travail à peu près inutile.

Les deux grandes faces du lingot sont les seules importantes ; un défaut extérieur, qui disparaîtra sur un lingot travaillé en tous sens, persistera sur la tôle en donnant une paille ou une veine, et sera la cause d'un rebut. On empêche l'apparition de ces défauts extérieurs en augmentant les congés de raccordement et la convexité des faces : les lingots sont alors franchement bombés. Il est à remarquer en effet que les lingots à tôle sont difficiles à retourner dans le four, et qu'au laminage ils sont toujours sur la même face ; aussi les gouttes de scorie qui peuvent se trouver sur la face supérieure y restent adhérentes, malgré le soin qu'on prenne de les balayer et d'arroser le cylindre en travail. Avec des lingots nettement bombés, on peut

espérer que la scorie de la surface ou les gouttes qui y forment autant de piqûres en tombant de la voûte du four s'écouleront vers les bords. La convexité peut être les 10 à 15 centièmes de la grande dimension. Les petits côtés sont cintrés également pour raccorder les congés des angles.

Le rapport de la hauteur à la largeur maxima est aussi de 3 à 5 ; ce qui représente d'ailleurs 6 à 7 fois l'épaisseur. Il convient d'augmenter l'inclinaison des lingots longs et très minces pour assurer le démoulage.

On essayé d'employer des lingotières *borgnes*, c'est-à-dire dont le fond est venu de fonte avec la lingotière ; la petite base est alors à la partie inférieure. Mais souvent les lingots ne se séparent pas, et, comme on n'a aucune prise, lingot et lingotière sont perdus ; elles brûlent d'ailleurs assez facilement. On a fait usage aussi de lingotières en deux pièces réunies par des agrafes : leur seul avantage était un démoulage facile ; elles sont aujourd'hui abandonnées.

Forme extérieure. — La forme extérieure de la lingotière doit être telle qu'en aucun point elle ne subisse des tensions qui puissent la faire fendre longitudinalement, par suite de dilatations inégales pendant la coulée. La surface théorique sera le lieu des points pour lesquels le rayonnement de la paroi intérieure donne une température constante ; on obtient ainsi des lignes isothermes dont l'une quelconque peut servir de surface extérieure. Pour une paroi interne circulaire, cette surface serait un cylindre de même axe ; avec une lingotière carrée, elle devient une courbe ogivale donnant une épaisseur maxima au milieu des côtés et très faible aux angles. Une lingotière plate a des isothermes elliptiques.

Dans la pratique, comme les angles sont plus exposés aux chocs, on donne une épaisseur sensiblement égale en traçant la surface extérieure parallèle à la section intérieure, mais renflée au milieu des côtés, de 3 à 5 0/0 de la longueur du côté. L'épaisseur moyenne à donner varie avec les dimensions, la qualité de la fonte, ainsi qu'avec la température des coulées et le mode d'emploi.

La masse de la lingotière doit être en effet suffisante pour refroidir le métal qu'on y verse, de sorte que la partie du lingot en contact avec les parois reste à une température inférieure à celle du ramollissement de la fonte du moule : sinon il y aurait soudage ; un lingot massif nécessite donc une lingotière épaisse. Il y a néanmoins des limites, surtout pour les lingots coulés en source ; si la masse de la

lingotière est trop grande, le métal arrivant par un jet réduit à ascension lente refroidira trop vite, se figera ou s'élèvera par ressauts successifs, donnant des lingots frisés, à reprises mal soudées. Plus lentement on coulera, et plus mince doit être la lingotière.

Des lingotières ayant les épaisseurs suivantes se sont bien comportées :

COTÉ DU CARRÉ	COULÉE	HAUTEUR des LINGOTS	ÉPAISSEUR MOYENNE des LINGOTIÈRES
Millimètres		Mètres	Millimètres
110	Source	1,00	30
160	id.	1,00	40
180	Chute	1,10	50
220	id.	1,20	50
260	id.	1,40	55
350	id.	1,60	60
400	id.	1,70	65
500	id.	1,80	70

On manœuvre les lingotières avec des appareils hydrauliques, à vapeur ou électriques, qui les saisissent par des oreilles. Ces oreilles, en fer rond fortement barbelé et ouvert en gueule de loup, sont disposées dans le moule avant la coulée ; elles se trouvent noyées dans la tranche de la paroi renforcée en ce point. Les lingotières qu'on démoule au stripper sont sans appendices sur la tranche supérieure, mais elles ont latéralement des oreilles venues de fonte sous lesquelles on passe les chaînes ou les tringles de suspension.

On n'a pas à dresser la partie inférieure, qui tout autour est enduite d'une terre sablonneuse pour empêcher les fuites. Les lingotières minces, y étant plus sujettes, sont soigneusement burinées; on les surveille à chaque coulée lorsqu'elles deviennent mauvaises.

Fontes de lingotières. — Ce sont des fontes peu fusibles et peu sensibles à l'influence de refroidissements brusques répétés. On recherche les fontes silicieuses correspondant au numéro 2 de fonderie, c'est-à-dire très grises ; il faut exclure celles qui sont riches en manganèse ou en phosphore : le premier les prédispose aux fentes, le second tend à faire brûler les parois et à souder les lingots. Dans les aciéries acides, on utilise la fonte intentionnellement



Lingotière pour lingots carrés.

Lingotière pour lingots plats.

Bouchon en fonte.

Base de lingotière garnie d'une plaquette de terre réfractaire.

Lingotière borgne en deux pièces pour lingot d'essai.

peu manganésée produite par les hauts-fourneaux aux jours d'arrêt de l'aciérie ; après usage, les lingotières mises hors de service sont cassées et fondues au cubilot comme fonte Bessemer.

Dans la fabrication des lingotières, on peut employer une partie des boccages de lingotières pour en couler de nouvelles, mais il faut trier avec soin, pour l'écarter, tout ce qui a été trop brûlé; on y ajoute 35 à 45 0/0 de fonte neuve. On les coule à une température peu supérieure à celle de fusion, afin de donner une belle peau et d'éviter les dartres ; les noyaux sont d'ailleurs garnis d'une couche de noir bien unie. Une forte masselotte empêche la formation de vides dans la partie qui entoure les oreilles, car cette région est soumise aux efforts mécaniques les plus violents.

La composition d'une fonte de lingotières donnant de bons résultats varie dans les limites suivantes :

	Pour 100	
Si	2,0 à	2,50
C	3,50	4,20
Ph	0,07	0,09
S	0,04	0,05
Mn	0,50	0,70

Bases de lingotières. — On dresse les lingotières sur une épaisse plaque de fonte, qui sert de fond et dont la surface est bien plane afin de ne pas donner lieu à des fuites. Chaque plaque supporte une grosse lingotière ou deux petites ; on en a d'ailleurs de types variés, appropriés aux lingotières, pour ménager la place dans la fosse de coulée. Leur bord dépasse la lingotière tout autour de 3 à 6 centimètres et leur épaisseur est de 9 à 10 centimètres.

Ces plaques sont en fonte truitée blanche, dure. Comme elle est analogue à celle des cylindres de laminoirs, assez souvent on utilise la fonte provenant du réchauffage de la table d'un cylindre lors d'un ressoudage, pour couler des bases à découvert. Elles ne peuvent servir que d'un côté, à moins d'être coulées spécialement en châssis.

On les protège quelquefois contre la chute du métal par une mince brique réfractaire qu'on y encastre, et sur les bords de laquelle repose la lingotière. Ces briques peuvent durer plusieurs coulées ; mais, si elles se cassent, leurs fragments remontent dans le lingot qui se trouve avarié; en outre, elles sont coûteuses. Mieux vaut disposer dans le fond une feuille de tôle mince qui reçoit le choc du jet, et se soude légèrement avec la base du lingot ; on les arrache s'il y a lieu avant le laminage.

Séries de lingotières. — Dans les aciéries desservant un train blooming, comme celles à convertisseurs, la section des lingotières est celle qui correspond à la cannelure d'épaisseur maxima.

Lorsqu'on fournit en lingots plusieurs trains sans passer par un blooming, il faut avoir pour chaque train deux types de lingots, correspondant à deux sortes de produits, les uns à profil fort, les autres à petit profil. Les premiers sont engagés dans la première cannelure ébaucheuse, les autres directement dans la deuxième ou la troisième. Pour chacune de ces lingotières, on coule les lingots aux poids demandés, entre la limite maxima et celle qui correspond à la longueur facile à laminer sur rouleaux ou à tenir sur les aviots.

Les dimensions des lingotières plates sont plus variables. En général, on les établit en double série d'après la largeur, afin d'avoir les dimensions voulues pour les larges plats, sans être forcé de faire quelques passes au dégrossisseur pour amener le lingot à la largeur des cylindres verticaux. Elles sont échelonnées, à 3, 4 ou 5 centimètres d'intervalle, depuis la largeur qui vient après la dimension des lingots carrés employés au train universel et au train marchand, jusqu'à la largeur maxima. Pour une même largeur, la série a deux épaisseurs différentes : l'une destinée aux tôles fortes ou moyennes, l'autre aux tôles minces. Cependant les grandes largeurs ne se font qu'avec la plus forte épaisseur pour ne pas donner un lingot trop dissymétrique dans les dimensions de sa section.

Telles sont les séries suivantes :

LINGOTS CARRÉS

	SECTION		HAUTEUR
	PIED	TÊTE	
Blooming	450 × 450	400 × 400	1.900
Train trio pour gros profils (Train de 800 millimètres)	375 × 375	335 × 335	1.600
	345 × 345	305 × 305	1.600
Train marchand	240 × 240	215 × 215	1.100
	200 × 200	185 × 185	1.100
Train moyen	135 × 135	115 × 115	1.100
	120 × 120	105 × 105	800

LINGOTS PLATS POUR TOLERIE ET TRAIN UNIVERSEL

LARGEUR		EPAISSEUR				HAUTEUR	
		SÉRIE FORTE		SÉRIE FAIBLE			
PIED	TÊTE	Pied	Tête	Pied	Tête	SÉRIE FORTE	SÉRIE FAIBLE
1.025	1.000	300	270	»	»	1.500	1.500
975	950	300	270	»	»	1.500	1.500
925	900	300	270	180	150	1.500	1.500
575	550	300	270	180	150	1.500	1.500
525	500	—	—	—	—	1.500	1.500
485	460	—	—	—	—	1.500	1.500
445	420	—	—	—	—	1.500	1.500
405	380	—	—	—	—	1.500	1.200
365	340	—	—	—	—	1.400	1.200
330	305	300	270	180	150	1.200	1.200
300	275	300	270	180	150	1.200	1.100

Lingotières pour blindages. — Les lingotières pour blindages sont faites d'après le poids du lingot, dans la fosse même de coulée. De fortes dalles en fonte, bien dressées et jointives, qui formeront la base de la lingotière, sont disposées sur le fond de la fosse ; les parois sont obtenues au moyen de sommiers en fonte qu'on établit sur place de manière à limiter entre les quatre faces du moule la capacité désirée ; on les maintient réunis par des tirants et des étriers. Ce procédé permet de faire varier à volonté le poids ou la forme du lingot.

Le démoulage est très simple : après avoir enlevé les étriers, on retire les sommiers. Le lingot reste libre et se détache facilement, grâce aux enduits qui ont été mis sur la plaque, pour diminuer l'adhérence que produirait une masse considérable conservant longtemps sa chaleur.

MANUTENTION DES LINGOTS ET DES LINGOTIÈRES. — COULÉE

Disposition des lingotières dans les fosses de coulée. — La forme des fosses de coulée varie avec la disposition de l'appareil porteur

de poche; elle est circulaire avec des grues centrales, ou rectiligne pour une poche montée sur un chariot.

Les bords sont établis avec un blindage de plaques en acier fortement ancrées dans un massif de béton, et le fond est constitué par une assise très solide. La profondeur est suffisante pour que la busette se trouve toujours au-dessus des lingotières les plus hautes, quand la poche est baissée à sa position inférieure. Le plus souvent, dans les aciéries Martin, la poche ne se déplace qu'horizontalement sur son chariot, ce qui oblige à des fosses profondes; mais, lorsqu'elle est munie d'un système d'élévation verticale, la fosse peut être moins enterrée. Une fosse peu profonde est plus commode, et le rayonnement de la chaleur y est moins sensible.

Dans un des angles ou à proximité de la fosse, se trouve solidement fixée en terre une borne (un gros lingot par exemple), sur laquelle on fait tomber les lingotières qui restent adhérentes à leurs lingots.

La fosse est desservie par un appareil de manutention, grue ou pont roulant. Dans les fosses circulaires, les grues hydrauliques sont disposées par deux : l'une prend les lingotières, l'autre charge les lingots.

Pour que la lingotière, bien verticale, ne reçoive pas le jet sur ses parois, on aligne sur le chemin que parcourt la poche les bases posées horizontalement. Le soudage du pied du lingot est évité par l'application sur les bases encore chaudes d'un lait de chaux ou de plombagine délayée à l'eau; il reste une très mince couche qui sèche aussitôt. L'argile ne saurait être recommandée, parce qu'elle est fusible, et remonte quelquefois dans le métal.

On assure un plus long usage aux lingotières en les enduisant, surtout vers le pied, pendant qu'un appareil de levage les tient suspendues par les oreilles. Ces enduits, toujours très clairs, sont appliqués sur les lingotières chaudes avec des brosses emmanchées. On emploie des terres réfractaires délayées, un lait de chaux, de la mélasse, du goudron, de la plombagine délayée.

Les premières sont peu coûteuses, mais la chaux est préférable. Le goudron donne une flamme qui rend plus difficile la coulée à hauteur voulue; de plus, il est dispendieux. La plombagine, dont le prix de revient est également élevé, est réservée aux fonderies d'acier moulé. Sans être indispensable, l'enduit est toujours utile, surtout pour les gros lingots qui conservent longtemps leur chaleur. Lorsqu'on refroidit les lingotières dans des bassins, il est pratique de jeter

dans le bassin même de la chaux qui reste en suspension et se dépose sur la lingotière par évaporation.

Dès que les lingotières sont mises sur leur base, on garnit l'extérieur avec de la terre pour éviter les fuites ; de l'argile ordinaire ou du sable suffisent. Leur température ne doit pas dépasser 80°, car des lingotières trop chaudes favorisent la formation de soufflures périphériques, autant qu'une coulée à trop haute température ; par contre, on ne doit pas non plus les mettre dans la fosse froides ni surtout humides ; lorsqu'elles n'ont pas servi depuis longtemps, on les réchauffe au contact de lingots chauds, ou avec un feu de bois. Des lingotières froides produisent le dégagement instantané des gaz et donnent des lingots à tige creuse ; on gratte soigneusement celles qui seraient rouillées, parce que la rouille réagit fortement sur le métal, le doucit, en donnant une coulée mousseuse.

Les lingots à tôles sont demandés avec un poids exact. Dans ce but, le couleur marque d'un trait à la craie la hauteur normale d'un lingot correspondant au poids fixé, d'après un barème qu'il possède pour chaque lingotière. Il voit ensuite à la coulée même s'il y a lieu, d'après la façon dont se comporte le métal, de faire à cette hauteur une correction, en plus ou en moins.

Coulée. — La poche est amenée au-dessus du milieu de chaque lingotière ; le couleur, appuyant sur son levier, soulève le tampon. Le jet est donné en plein pour qu'il reste bien cylindrique et ne fasse pas de bavures sur les bords de la lingotière ; il est maintenu au centre pour que le mouvement d'ascension régulier du métal détache les gouttes froides.

La busette est aussi près que possible de la lingotière : des éclaboussures sur les parois donneraient à la surface du lingot des pailles qui, lorsqu'il est petit, ne recevraient pas assez de chaleur pour refondre. Les interruptions du jet sont également dangereuses ; à chaque fois, l'étranglement produit une gerbe qui arrose les parois du moule ; de plus, la surface plus étendue du métal au contact de l'air s'oxyde davantage. Cependant, il est nécessaire d'essayer la fermeture du tampon avant d'avoir coulé le poids voulu : on réduit légèrement le passage pour faire doucement affleurer le lingot à la marque tracée, et on interrompt totalement. Le tampon est vigoureusement assujetti sur son siège pour passer d'une lingotière à l'autre.

Le diamètre de la busette est en rapport avec la section des lin-



Grue hydraulique de démoulage à pivot supérieur.

Piat et Fougerol, à Auxerre.

1. Pivot inférieur et tuyau fixe d'eau sous pression. — 2. Pivot supérieur. — 3. Raccord du tourillon creux avec le cylindre. — 4. Cylindre hydraulique en acier. — 5. Tige de piston. — 6. Volée. — 7. Chariot roulant sur la volée. — 8. Appareil à chaîne sans fin assurant le déplacement du chariot sur la volée.

gots, pour que le remplissage ait une vitesse convenable. Trop lent pour de gros lingots, c'est une perte de temps à peu près inutile; trop rapide au contraire, surtout pour les petits, il ne donne pas aux gaz le temps de se dégager ; le métal grimpe sur les parois et redescend fortement par la suite : il en résulte une tige de botte.

Pour réduire la hauteur de chute dans la coulée directe, on peut disposer sous la busette un couloir ou *panier*, suspendu d'un côté à la poche et maintenu de l'autre à la main; le métal passe dans ce réservoir garnissé avant de tomber dans la lingotière. Pour les petits lingots, ce panier a deux déversoirs (*coulottes*), qui permettent d'en couler deux à la fois. Ce dispositif risque de donner des bavures et il refroidit le métal, aussi est-il peu employé.

Pendant la coulée même, on fait des additions d'aluminium en menus morceaux, afin d'obtenir des lingots moins soufflés. Les résultats justifient son emploi sans qu'on puisse jusqu'ici préciser son action : une désoxydation partielle ne s'expliquerait guère en présence de l'oxyde de carbone qui forme la plus grande partie des gaz; est-ce, au contraire, une augmentation de la solubilité des gaz, à un plus haut degré que ne la produisent le silicium et le manganèse? Toujours est-il que l'emploi en est général.

Quelquefois on jette les fragments d'aluminium dans la poche pendant la coulée, mais il est plus économique de le faire dans la lingotière. Il ne faut jamais dépasser une dose totale de $0^{kg},500$ par tonne; la dépense est moindre en le mettant par petits morceaux : ainsi, on peut agir sur 100 lingots de 1.500 kilogrammes avec $1^{kg},500$ d'aluminium, soit 1/100.000. C'est par le couleur ou sur son ordre qu'est ajouté l'aluminium, quand la lingotière est déjà partiellement remplie. Les coulées obtenues par les procédés sur sole ont rarement besoin de cette addition, sauf l'acier extra-doux; elle est nécessaire, au contraire, dans l'acier Thomas ordinaire, mais l'acier dur peut s'en passer.

Dans les aciers qui remontent sans dégagement d'étincelles, l'aluminium est plutôt nuisible, car il fait remonter le bain encore davantage; il augmente sans doute la solubilité des gaz et contrarie leur dégagement. Le seul moyen à employer est de remuer et d'agiter la surface avec une tige de fer, dite *pompe*. L'effet est analogue à l'ébullition du lait ou des liquides gélatineux : la pompe favorise le dégagement des gaz. Elle sert surtout dans les aciers durs, où le manganèse et le silicium font figer rapidement la surface; on crève la croûte avant que la pression intérieure ne la fendille et ne forme

des cheminées d'éruption qui feraient communiquer les soufflures centrales avec l'extérieur.

La surface du métal liquide se comporte différemment suivant sa composition. Les aciers au creuset ou sur sole étant restés longtemps liquides sont plus calmes dans les lingotières que les aciers de conversion qui ont gardé beaucoup de gaz. Plus un acier sera dur, et plus il sera tranquille; le silicium surtout donne des aciers qui figent rapidement à la surface.

Dans les aciers vifs, le métal remonte avec une tête informe, appelée communément *chou-fleur* à cause de son aspect. On atténue cet effet, dès qu'un cordon s'est formé tout autour du lingot, en le recouvrant d'un bouchon en fonte muni d'une poignée, sur lequel vient se glacer le métal pâteux remontant. Lors du démoulage, le bouchon se détache et sert de nouveau.

On emploie aussi des carrés de tôle épais de 4 à 6 millimètres; ces bouchons, obtenus dans les chutes de têtes, sont moins coûteux, mais ils ne servent qu'une fois, parce qu'ils se soudent au lingot. Ils sont avantageux avec du métal doux, qui reste vif plus longtemps et peut déborder au-dessus du bouchon; il n'en résulte aucun inconvénient, tandis qu'un bouchon de fonte emmené avec le lingot dans le four à réchauffer fond à l'intérieur du lingot et peut être projeté dangereusement pendant le laminage.

Les gros lingots de métal très vif peuvent être clavetés à l'eau. On verse sur leur surface un seau d'eau qui forme bouchon hermétique, et demeure, en bouillant, à l'état sphéroïdal; la prise est encore plus rapide si l'on refroidit le haut des lingotières en les arrosant extérieurement. Il est dangereux de couvrir à l'eau des coulées épaisses, car on risque des explosions. On met un bouchon dès que l'eau est évaporée à peu près complètement.

Dans quelques usines, on verse des scories fusibles, du verre même, qui fondent et préservent l'acier du contact de l'air; cette couche vitrifiée fond et disparaît au four à réchauffer.

Le *clavetage* des lingotières s'applique à des aciers remontants, pour éviter une partie des soufflures. Cette opération doit être faite avant le dégagement de gaz afin de solidifier la tête et former serrage par refroidissement. Sur un bouchon de tôle, on verse du sable jusqu'au sommet de la lingotière, et, au-dessus, une tôle épaisse est maintenue par une barrette passée entre les oreilles et serrée avec un coin. Il est toujours dangereux de rester à proximité des lingotières clavetées, dans la direction des angles : quelquefois, le métal,

mal contenu s'écoule dans le sable, et peut fuser au dehors à plusieurs mètres.

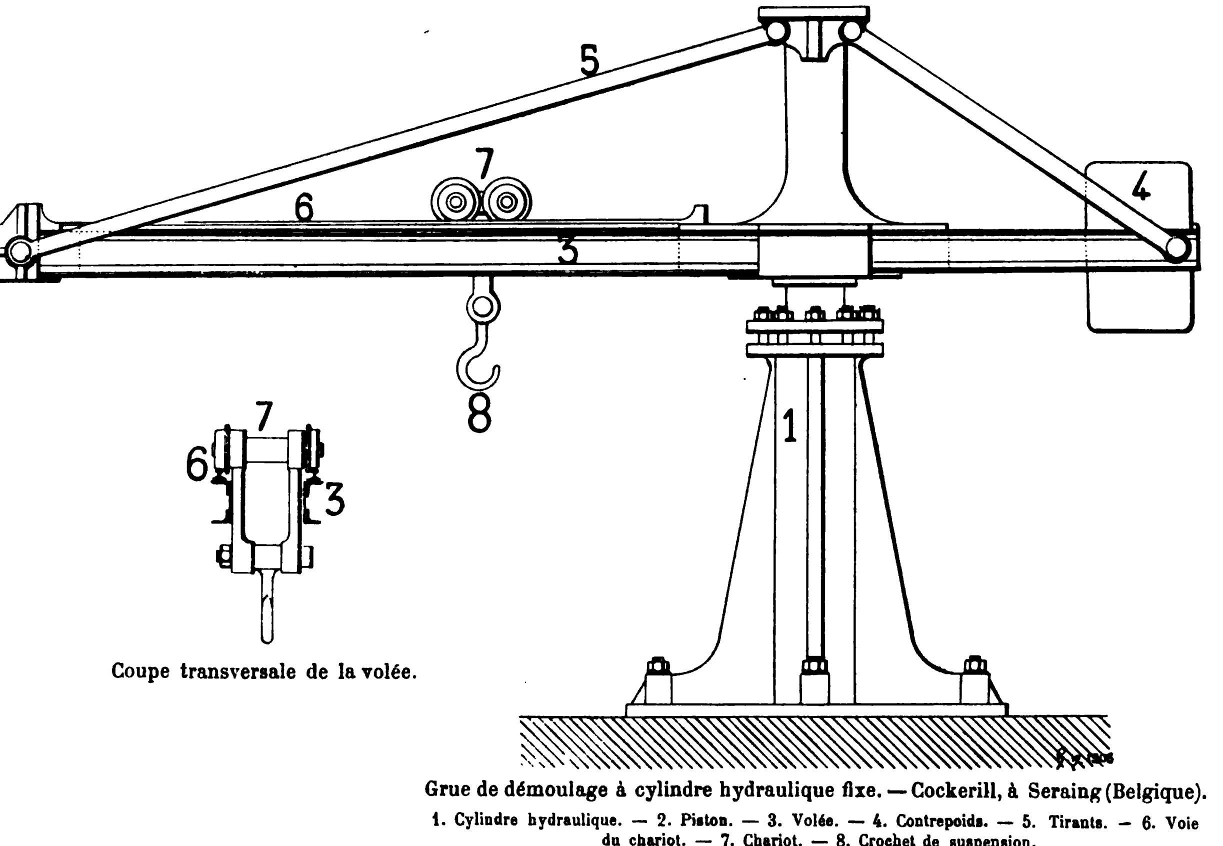
Mieux vaut pomper convenablement que de recourir au clavetage, et, lorsqu'on s'aperçoit d'une tendance à remonter, couler les lingots très bas. La pression qu'exerce le clavetage est très faible; il sert tout au plus à éviter le rochage, si le métal n'est pas trop chargé de gaz.

On avait préconisé le poussier de charbon de bois à l'exemple des mouleurs en fonte, mais il en est autrement avec l'acier, car le charbon ne se combine pas avec la fonte, tandis que, s'il reste de l'oxygène dissous, il y a production d'oxyde de carbone, et, par suite, effet inverse à celui qu'on attendait.

Démoulage. — Des considérations techniques exigent que le métal soit bien pris avant le démoulage, sans compter les dangers que présente la manutention d'un lingot dont la tête, trop mince, laisserait fuser le métal. Le centre, qui reste longtemps chaud, est moins compact par la présence de soufflures inévitables et par le retassement central; si l'on renverse ou si l'on soumet à des chocs brusques un lingot de ce genre, des déchirures internes se produisent, des décollements rassemblent les soufflures et détruisent la cohésion naturelle qui commençait à s'effectuer. Aussi ces défauts donnent au dégrossisseur une mauvaise soudure; par suite la pièce laminée sera comme composée de feuillets, se rapprochant ainsi du fer soudé, et ne donnera pas la sécurité qu'on attend de l'acier. Les cahiers des charges pour fournitures de rails spécifient un repos de vingt à trente minutes après la coulée.

Le démoulage s'opère de deux façons : tantôt on enlève les lingotières seules, puis les lingots, tantôt on enlève les deux simultanément.

Dans le premier cas, les chaînes de l'appareil de levage, grue ou pont roulant, sont munies de crochets qu'on passe dans les oreilles des lingotières. Celles-ci sont soulevées et plongées dans des bacs à refroidir, ou déposées à terre. On enlève ensuite les lingots, et, lorsqu'ils sont couchés par terre, on les soulève par le milieu pour les placer sur les wagons. Dans les fours à sole où les coulées ont au moins un intervalle de six heures, les lingots sont laissés sur place et chargés seulement après un refroidissement partiel; les lingotières reçoivent un arrosage à la lance, ou, si elles sont peu épaisses, on les laisse se refroidir d'elles-mêmes.



Grue de démoulage à cylindre hydraulique fixe. — Cockerill, à Seraing (Belgique).

1. Cylindre hydraulique. — 2. Piston. — 3. Volée. — 4. Contrepoids. — 5. Tirants. — 6. Voie du chariot. — 7. Chariot. — 8. Crochet de suspension.

Les aciéries qui desservent de gros trains ont avantage à alimenter le laminoir avec des lingots très chauds ; il faut alors démouler plus rapidement, et éviter aux lingots le contact de l'air : placés sur wagon deux par deux, ils sont aussitôt envoyés au réchauffage.

Les fosses sont alors assez vastes pour contenir deux coulées au moins, et chacune a deux ou trois grues. Avec la première, on retire ensemble de la fosse lingot et lingotière : on passe sous le lingot, légèrement soulevé et incliné sur une arête, un étrier qui prend appui sur la tête de la lingotière, et on enlève en même temps la lingotière accrochée par les oreilles, et le lingot maintenu par l'étrier. Au passage, sur un emplacement parcouru par l'autre grue, on tire avec un long crochet la branche inférieure de l'étrier qui glisse et tombe, et le lingot reste à terre. La lingotière, toujours suspendue, poursuit sa course circulaire ; elle est plongée dans le bac refroidisseur, puis détachée. On accroche alors une autre lingotière déjà refroidie dans ce même bac par une immersion de deux minutes, et, en continuant la course de la grue, on vient déposer cette lingotière à la partie opposée de la fosse de coulée, sur le fond qui a été préparé pour la recevoir. Les lingots laissés à terre sont aussitôt repris par les tenailles de la seconde grue et placés sur wagons. On opère ainsi très rapidement sans encombrer la fosse qui a toujours un jeu de lingotières tout prêt.

Avec un pont roulant, le service est encore plus commode, puisque la surface couverte est beaucoup plus vaste et que tous les mouvements sont mécaniques.

Si les lingots doivent alimenter des *pits* ou fours verticaux, ils sont pris debout par la tête avec la tenaille, et déposés légèrement inclinés sur des wagonnets munis de sommiers ; une locomotive les emmène aussitôt jusqu'aux pits.

Les nouvelles installations d'aciéries alimentant des pits opèrent la coulée sur wagons, ou *car-casting*.

Les lingots ne se démoulent pas toujours d'eux-mêmes par suite d'aspérités. On les frappe au sommet avec un mouton en fer (appelé *clarinette*), la lingotière étant couchée presque horizontalement. Si le choc produit par un mouton à bras est insuffisant, la lingotière est suspendue par une oreille dans le crochet d'un *chien*, déclic analogue à celui des sonnettes à battre les pieux, puis orientée pour que son bord soit à l'aplomb d'une chabotte constituée par un lingot d'acier dur logé dans un coin de la fosse. En déclenchant, on fait frapper le bord

de la lingotière sur le bord de la chabotte, et l'inertie du lingot le détache.

On peut procéder autrement, en laissant tomber sur la tête du lingot un mouton suspendu à la grue. Les oreilles sont protégées par un chapeau d'acier moulé, percé au centre d'un trou où se loge un pilon mobile destiné à transmettre le choc au lingot sur lequel il repose; un déclic lâche, d'aussi haut que possible, le mouton qui frappe le pilon. Ce travail ne se fait qu'après refroidissement : il est favorisé par le retrait qui s'est déjà produit.

Les lingotières recouvertes de bavures sont nettoyées à la tranche et à la masse : le temps employé est moins onéreux que la perte de la lingotière. Les lingots qui présentent des tiges de botte ou de fortes bavures sont également affranchis à la tranche après refroidissement; il serait dangereux de les laisser tels, car lors du passage dans les trains, surtout pour les profilés, ce sont des causes fréquentes de colliers, et la difficulté d'engagement dans la cannelure produit toujours un retard au laminage.

CAR-CASTING

Pour de gros lingots destinés à des bloomings qu'alimentent des pits, on a récemment mis en usage un autre système de coulée : les lingotières sont portées par des trucks roulant sur une petite voie.

La poche est amenée par un pont roulant supérieur, un chariot, ou même une grue centrale, et on coule en déplaçant la poche ou en avançant le wagonnet : les deux mouvements sont possibles, grâce à une pousseuse à cylindre hydraulique, qui, s'appuyant sur le dernier wagon, chasse le train entier devant elle. Les lingotières, grosses et peu nombreuses, sont montées par deux sur chaque wagonnet; la plate-forme qui les supporte est munie d'un bord rabattu sur lequel glisse le métal, qui, fuyant éventuellement au pied de la coquille, viendrait endommager le truck.

La coulée terminée, on emmène le train composé de trois ou quatre wagons jusqu'auprès des pits, où se fait le démoulage; mais, avant ce transport, les lingots doivent être pris à leur surface pour éviter des accidents. Un train vide remplace aussitôt le premier.

Le démoulage à côté des pits a cet avantage que les lingots sont

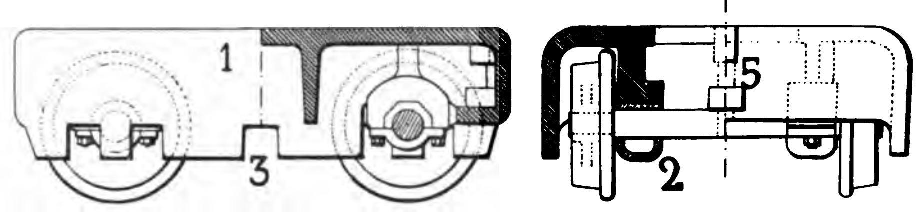
enfournés très chauds dans leurs cellules ; sans qu'il y ait besoin de les réchauffer, leur séjour peut y être prolongé lors d'un léger arrêt du laminoir. On démoule avec des grues, ou mieux un pont roulant ; les lingotières sont retirées une à une et plongées dans le bac refroidisseur, tandis que chaque lingot est mis dans sa cellule, rebouchée aussitôt après.

Lorsqu'un de ces gros lingots ne se détache pas, on ne peut guère le faire sortir par des chocs qui détériorent le matériel et les lingots eux-mêmes. Le travail est rendu facile et plus rapide par l'emploi d'un stripper.

Le *stripper* se compose de deux cylindres hydrauliques de même axe, opposés par leur fond. Le cylindre inférieur, qui est le plus petit, porte une tige pendante terminée par une tête qui peut s'introduire dans la lingotière en appuyant sur le lingot. Le grand cylindre assure le démoulage : deux tiges fixées à la tête du piston se terminent par des crochets qui s'engagent sous les oreilles de la lingotière formées d'une nervure très prononcée. Des appareils horizontaux déplacent transversalement le truck, porteur de ces cylindres ; ceux-ci sont alimentés, quelle que soit leur position, par un tuyau articulé d'eau sous pression.

Le train des lingots chauds est amené sous le stripper ; à côté, sur une voie semblable, est un train de wagonnets vides dont la plateforme a reçu les bases préparées, munies, s'il y a lieu, de leur plaquette réfractaire. La tige du petit cylindre est descendue sur la tête du lingot ; elle y appuie sans pression et le tient immobile ; ce cylindre est alors isolé de sa conduite d'eau par un distributeur à soupape ou à vis pointeau, pendant que les tiges pendantes du grand cylindre sont accrochées sous les oreilles. On fait agir la pression : les tiges s'élèvent et avec elles la lingotière qui se sépare du lingot resté debout. Le stripper est ensuite déplacé jusqu'au-dessus de la voie à wagons vides, et la lingotière est descendue sur sa base préparée. Le lingot est enlevé de son wagon par une pince suspendue à une grue ou un pont roulant.

Avec le stripper, le démoulage est rapide, et les lingotières ne sont pas endommagées. Il n'est pas nécessaire de les refroidir à l'eau : l'air suffit ; on a d'ailleurs toujours deux rames de wagonnets prêtes à être remplies de métal. Les oreilles, très rustiques, ne risquent pas d'être arrachées ou cassées, puisqu'elles font corps avec la lingotière. Enfin, si le lingot est un peu adhérent, il est détaché par glissement, et ne tend pas à se fissurer extérieurement.



Truck pour car-casting.

1. Châssis en fonte. — 2. Coussinets et boîtes à graisse. — 3. Encoche servant à la manutention des trucks au moyen du pousseur hydraulique. — 4. Emplacement des bases. — 5. Attelage.

Base de lingotière à plaquette réfractaire, pour car-casting.

Appareil hydraulique de manœuvre des trucks dans le car-casting.

1. Truck. — 2. Levier coudé. — 3. Barre pousseuse. — 4. Cylindre hydraulique commandant la barre pousseuse. — 5. Secteur denté traversé par la partie carrée de la barre pousseuse, qu'il oriente pour engager le levier coudé dans les encoches du truck, ou l'en dégager. — 6. Crémaillère et cylindre hydraulique effectuant l'orientation du levier coudé.

Comme, d'autre part, il est maintenu sensiblement immobile et préservé des chocs, il peut être démoulé avant solidification complète, sans risques de criques intérieures.

La manœuvre par puissance hydraulique est plus rapide et plus souple que l'énergie électrique; la même source d'énergie est préférable aussi pour commander le pont roulant qui dessert les pits, du moins pour l'élévation verticale des lingots. Des appareils électriques de grande puissance ne donnent cependant pas de mauvais résultats pour la manœuvre des lingots.

Le stripper est toujours doublé d'un appareil analogue, qui sert de rechange.

COULÉE EN SOURCE

Matériel. — La coulée en source est le mode de coulée qui donne les lingots les plus propres et conserve le mieux l'intégrité des lingotières. Il permet d'avoir rapidement un grand nombre de petits lingots, sans augmenter la production de scraps comme cela arrive dans la coulée en chute. Les lingots ont un plus bel aspect, sans gouttes froides ni bavures; la soufflure centrale, plus près de la base, laisse la tête franche.

L'alimentation par le pied du lingot se fait au moyen de canaux en briques réfractaires, logés dans les rainures d'une plaque servant de fond aux lingotières; le réseau communique avec une *mère* en fonte garnissée de briques et dans laquelle on coule en chute. La charge qui s'exerce dans la mère fait élever simultanément tous les lingots à la même hauteur, et on peut couler dans une même source jusqu'à 60 lingots de petite taille; d'ailleurs le nombre n'en est limité que par la longueur des canaux réfractaires, qui refroidissent le métal, ainsi que par la vitesse nécessaire à l'ascension dans la lingotière. En effet, soit une source de n lingots coulée avec une busette de même section que pour la coulée en chute d'un seul lingot; si, pour ce dernier cas, on représente la vitesse de remplissage par v, celle des lingots en source ne sera que $\frac{v}{n}$. Or, il faut compter avec le refroidissement qui augmente avec le temps du remplissage; on rend ce refroidissement moins sensible en réduisant l'épaisseur des lingotières et en coulant un peu plus chaud.

La longueur des canaux est limitée au strict nécessaire, sans coudes trop nombreux ni ramifications trop faibles, afin de conserver un égal débit dans tous les conduits. Aussi, lorsque c'est possible, on dispose en série plusieurs lingotières sur un même canal, et on compose la source de séries analogues. Chaque canal conserve dans toute sa longueur une section constante, bien que le débit diminue, pour compenser par une masse plus grande de métal chaud la réduction de la vitesse de circulation.

Les canaux débouchent dans les lingotières par un trou vertical, à angle droit sur le canal, et dont la section, à peu près indépendante de celle du lingot, ne peut descendre au-dessous de 28 millimètres. La dépression créée par cet orifice permet à tous les lingots, quelle que soit leur distance de la mère, de monter également et en même temps ; ce dernier point est indispensable, car les premiers jets, refroidis déjà dans la mère, couvrent la surface conductrice de a plaque de fond, et risqueraient de se figer si leur alimentation était irrégulière.

Les collecteurs sont réunis à la mère par de larges ouvertures qui compensent la réduction de vitesse causée par le coude à angle droit. La section de la mère est suffisante pour créer un réservoir et parer aux irrégularités de l'alimentation ; sa surface est au moins égale à quatre fois la section de la busette de coulée ; en dépassant beaucoup ce chiffre, on aurait à chaque fois une perte de métal importante sous forme de scraps à refondre. Le haut de la mère s'ouvre en entonnoir fortement incliné pour que le jet glisse sans éclabousser ; bien que les entonnoirs soient le plus souvent à génératrice rectiligne, une forme semblable à celle de la busette diminuerait l'angle de chute du jet.

La mère est quelquefois une lingotière dont on utilise le lingot. L'économie n'est qu'apparente : le lingot présente toujours une tige de botte due à la charge du métal, et il est fréquemment creux ; en outre, la lingotière s'use très vite, et finit brûlée avec son lingot.

Les mères garnissées en brique sont préférables. Un tube de fonte, en deux pièces réunies par des colliers et des coins, est garni intérieurement de tuyaux en brique réfractaire ; le tuyau inférieur arase exactement la base du tube de métal, qui repose d'aplomb. On sèche avec une baguette de fer rouge qui évapore l'eau du coulis dont on garnit les joints.

La mère de source se fait aussi en sable de fonderie qu'on dame sur un mandrin à l'intérieur du tuyau de fonte ; il y a une économie

lorsqu'on en emploie beaucoup. Ces moules sont étuvés sur une plaque de fonte percée de trous au-dessus desquels chaque mère est posée pour former cheminée. L'entonnoir est en terre cuite, car le jet dégraderait le sable et l'entraînerait dans les canaux.

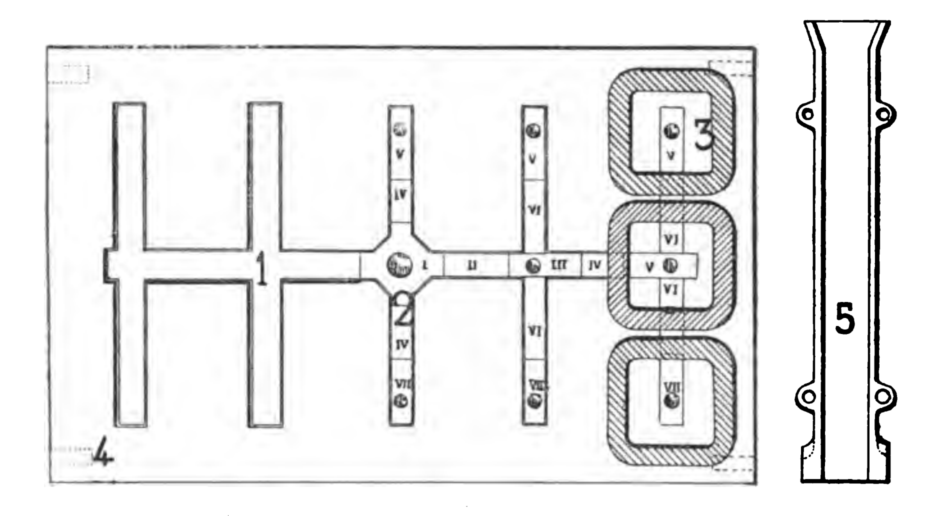
Les plaques de fond sont en fonte de lingotières ; elles sont creusées de rainures pour l'emplacement des briques, avec une dépouille et un jeu de 5 millimètres dans le fond de la rainure. Ne recevant pas le jet du métal, ces plaques durent longtemps, à condition que les briques joignent bien : les moindres fuites les usent rapidement.

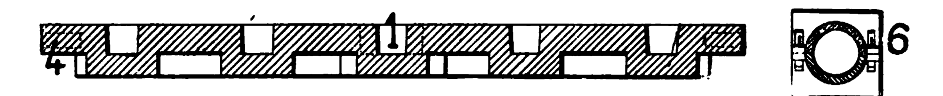
Comme les briques de source ne doivent servir qu'une fois, elles sont fabriquées de matière réfractaire ordinaire, brique grossièrement broyée et agglomérée par de l'argile crue. On a essayé de les mouler en deux pièces, pour faire servir le fond à plusieurs coulées, mais il n'y avait pas de notable économie. Il vaut mieux, à cause de leur fragilité, avoir des formes de briques simples, courtes, et sur des modèles peu nombreux permettant de se substituer les uns aux autres.

Si le service exige un changement fréquent des types de lingotières, on trouve avantage à avoir des plaques qui puissent recevoir plusieurs types, et des briques telles qu'une disposition convenable place le trou d'alimentation sensiblement au centre du lingot ; il est de toute importance que les joints soient recouverts par les lingotières, surtout près de la mére, si l'on veut éviter les fuites de métal.

Montage des sources. — La plaque de source est orientée pour que la mère se trouve exactement sous la busette de coulée, opération assez délicate quand la poche n'est pas mobile en tout sens. Le briquetage est commencé par la mère, en calant de sable fin chaque brique pour la faire affleurer à 2 millimètres au-dessous du niveau de la plaque ; chacune a été plongée, en bout seulement, dans un coulis clair, avant d'être posée et maintenue contre la brique précédente. On ferme ensuite pour un instant par des rivets en fer les trous des briques, et on étend à la brosse du sable fin qui remplit tous les interstices.

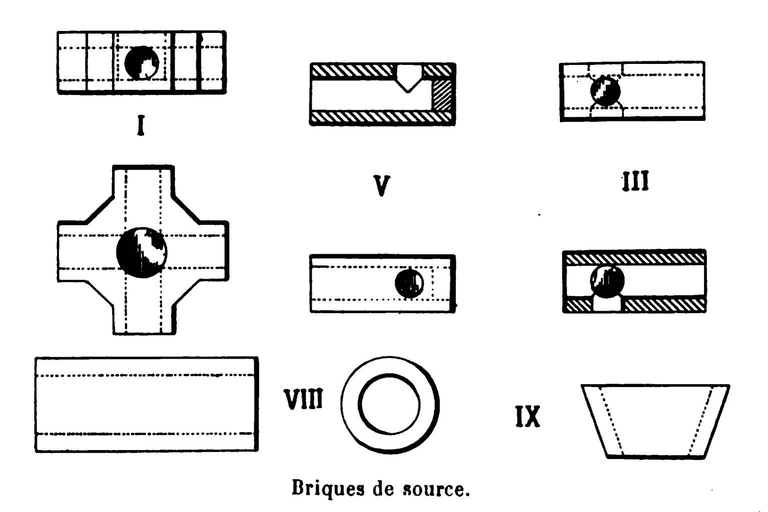
La plaque, balayée, est chauffée vers 60° pour être séchée ainsi que les briques ; la mère est mise en place et garnie de mortier, et on s'assure, en y enfonçant une barre de fer, qu'elle communique avec la tête de source. A leur tour, les lingotières, posées une à une, sont munies à leur pied d'une enveloppe de coulis épais et de sable, et,





Plaque de source (nue, briquetée, remmoulée). — Mère de source.

1. Canaux. — 2. Briques de source en place. — 3. Lingotières remmoulées. — 4. Mortaises de suspension de la plaque. — 5. Coquilles de mère de source. — 6. Clavetage des coquilles de mère.



Briques de source.

lorsque toute la source est posée, les oreilles sont couvertes de tôles qui les garantissent, près de la mère, des éclaboussures. L'entonnoir est réchauffé avec une barre de fer rouge après avoir été posé sur la mère.

La coulée demande un ouvrier habile qui ouvre nettement le tampon au-dessus du canal, tandis qu'on fait dans la mère même l'addition d'aluminium. Les coulées trop mousseuses dégagent des gaz dont les bulles obstrueraient la circulation dans les canaux; mieux vaut, lorsqu'on est en présence d'une opération semblable, s'abstenir de couler une source qui serait manquée. Le couleur règle l'alimentation de la mère de telle sorte que tous les lingots montent à la hauteur voulue.

Les queues de source réunissant les lingots entre eux rendent le démoulage assez difficile. On les rompt sur place encore chaudes, dès que les lingots sont solidifiés, en faisant une pesée horizontale sur les lingotières avec une pince engagée dans les oreilles. Les chapelets de lingots, posés sur le sol pour refroidir, sont ensuite séparés : on ceinture un lingot du chapelet, et on le passe, au moyen de l'appareil de levage, sous un gros crochet fixe qu'on engage entre deux lingots; en soulevant, il y a rupture. On achève d'ébarber chaque lingot à la masse; on facilite la rupture des queues en les arrosant d'un peu d'eau qui les trempe. Le fond de source est ensuite refroidi à l'eau et débarrassé des déchets de brique, puis préparé pour une autre coulée.

Le prix un peu plus élevé des lingots coulés en source leur empêche d'avoir un usage plus général. Il se trouve augmenté par l'emploi des briques de source (leur prix est de 40 francs la tonne) et par la production de scraps, qui, pour des lingots de 300 kilogrammes, est d'environ 50 kilogrammes par tonne. Malgré cette plus-value, ces lingots, de plus belle apparence que ceux coulés en chute, moins sujets qu'eux aux soufflures ou pailles, sont à recommander particulièrement pour les tôles.

TRANSPORT DES LINGOTS. — PARCS

Le transport des lingots froids s'effectue sur des wagons complètement en acier, sans ressorts, et très solides pour résister aux chocs

dans les déchargements à la grue. Les lingots chauds sont placés sur des wagonnets semblables, dont le truck est garni de gros rails espacés de 30 centimètres : une plateforme en tôle serait rapidement gondolée et mise hors d'usage.

Ceux qui sont conduits immédiatement au four sont, en sortant de l'aciérie, pesés sur les wagons préalablement tarés et livrés au laminoir pour le poids constaté.

Ceux que l'on met sur parc sont tous marqués, soit à chaud avec une marque en acier dur, soit à froid à la peinture, du numéro de la coulée et de leur poids : ces deux renseignements ont une grande importance pour les lingots à tôles. Afin de distinguer plus rapidement les qualités, outre la marque du numéro on adopte ordinairement des couleurs différentes selon la dureté du métal ; ainsi, l'acier doux ordinaire est marqué en blanc, le demi-dur en vert, et l'acier dur en rouge.

Les parcs sont établis de part et d'autre de voies parallèles ; les lingots y sont déchargés à l'aide de grues à vapeur ou à main. On les groupe d'abord par qualités approximatives, puis par échantillons et poids. On retrouve facilement la qualité d'un lingot sur des carnets qui portent, en regard du numéro de la coulée, les essais mécaniques qu'a subis le métal, ainsi que les principales analyses effectuées sur l'échantillon.

La surface d'un parc, y compris les voies, doit être de 2 mètres carrés par tonne de lingots de tôlerie, dont les poids et échantillons sont variables ; il suffit de 1 mètre carré par tonne dans un parc à lingots carrés pour blooming ou trains marchands.

ACCIDENTS DE LA COULÉE

Tampons et quenouilles. — Le tampon, emmanché sur sa tige, colle quelquefois au siège s'il est en terre insuffisamment réfractaire ; en cherchant à le détacher, on peut le casser ou bien arracher la busette. Le premier accident n'est pas grave : s'il est possible de travailler sous la poche sans danger, on crée à la pince une ouverture convenable et on coule dans de grosses lingotières. Si la busette se détache, mieux vaut fermer aussi fort que possible, et couler ensuite par le bec, parce qu'on risquerait de brûler la poche.

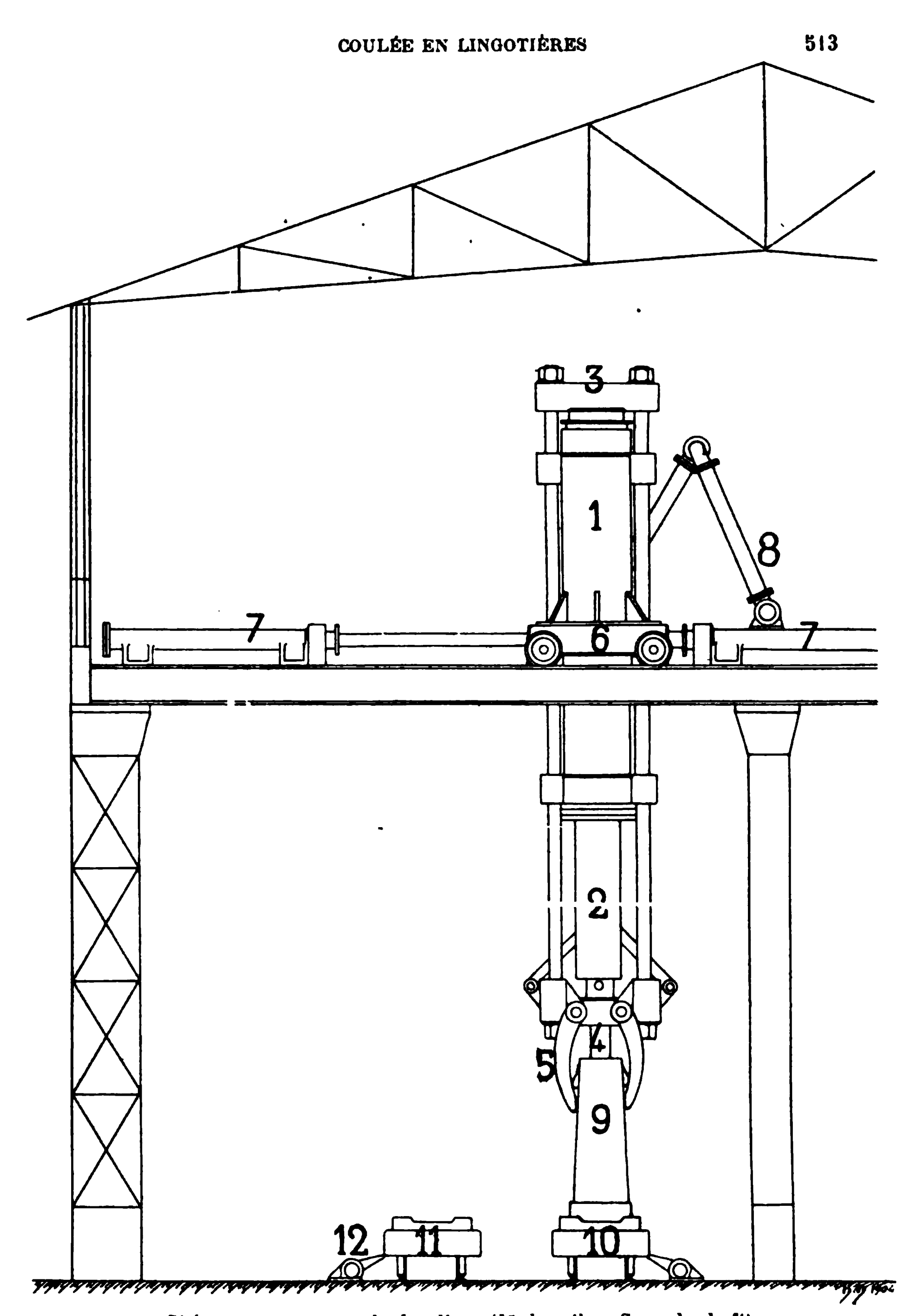
Lorsque le tampon ne peut pas s'ouvrir, on le détache en faisant descendre la poche sur une broche recourbée, engagée dans la busette et prenant appui sur le bord d'une lingotière; il faut agir avec précaution, car on court le risque de soulever en même temps la busette. Si ce moyen reste sans résultat, on dispose des lingotières pour couler par le bec.

La tige métallique de la quenouille peut être mise à nu lorsqu'il se produit des fentes dans son garnissage; elle est alors fondue, et le tampon n'est plus commandé par le levier. C'est un accident assez fréquent dans le procédé Thomas, en acier dur, par suite de la violente réaction du bain et du spiegel dans la poche. Le tampon reste ordinairement soudé à la busette, et permet d'amener la poche jusqu'au-dessus des lingotières; l'accident peut même se produire pendant la coulée, par exemple si l'aide couleur n'a pas le soin de briser la croûte de scorie surnageante qui s'attache à la quenouille.

On essaie d'ouvrir le tampon avec une broche : cette pratique est très dangereuse, parce que le tampon, violemment ramené à la surface par sa moindre densité, peut donner une projection de liquide; aussi ce travail doit-il être fait par des hommes alertes, que protègent des masques et des gants de cuir. Cependant, le tampon remonte le plus souvent sans accident; le jet part alors brusquement et sans interruption. Il faut beaucoup de précision dans le mouvement de la poche, et le passage aux lingotières successives donne fatalement des éclaboussures. D'ailleurs, si l'on veut utiliser les lingots, l'aluminium doit être prodigué; la plupart sont bons, quoique la tête soit garnie d'une forte tige de botte et de bavures qu'on coupe à la tranche. Les lingotières ont elles-mêmes besoin d'un nettoyage.

Le tampon peut encore s'ouvrir pendant la coulée du four ou du convertisseur; l'accident, très grave, est alors comparable à celui d'une poche percée.

Poche à acier. — La percée d'une poche pendant la coulée est un accident heureusement des plus rares. Tout doit aussitôt être mis en œuvre pour empêcher la formation d'un scraps de grand poids, qui risquerait d'englober des appareils ou des instruments de travail : on laisse, ou on amène la poche en un endroit d'où le loup formé puisse être enlevé sans encombre. Pour les fours Martin, la poche est amenée au-dessus des fosses de sûreté ménagées pour ces sortes d'accident : elles peuvent contenir au moins une coulée, et elles sont divisées, par de légères cloisons en chicane, en compartiments



Stripper à manœuvre hydraulique (Jünkerather Gewerkschaft).

1. Cylindre hydraulique effectuant la manœuvre de la lingotière. — 2. Cylindre hydraulique maintenant le lingot. — 3. Piston du cylindre de démoulage. — 4. Tige appuyant sur la tête du lingot. — 5. Bras d'accrochage. — 6. Chariot roulant portant le stripper. — 7. Cylindres de manœuvre du chariot. — 8. Tuyau articulé d'eau sous pression. — 9. Lingotière. — 10. Truck portant une lingotière pleine. — 11. Truck destiné à recevoir la lingotière après démoulage. — 12. Appareils hydrauliques manœuvrant les trucks.

qui permettent de briser plus facilement le loup formé. Avec les convertisseurs, comme on possède un appareil moteur puissant, il est préférable de faire décrire à la poche avariée, et en toute vitesse, tout le chemin qu'elle peut faire, en la ramenant alternativement dans un sens et dans l'autre; on évite naturellement de couler sur des parties humides, ou sur des objets métalliques qui seraient soudés ou endommagés. Pour un chariot de coulée, le mieux est de tourner la poche et de couler dans l'intervalle de la voie, en promenant le chariot d'un bout à l'autre de ses rails; ainsi étendu, le scraps est facile à enlever et l'accident se réduit en somme à la perte de la coulée.

Coulées froides. — Quand le métal n'est pas assez chaud pour rester liquide tout le temps de la coulée, il se fige sur les bords en une croûte dont l'épaisseur augmente jusqu'en bas. Cette croûte peut ne se former qu'au fond de la poche, si la crasse surnageante est suffisante; au contraire, une couche trop faible de crasse laisse la surface se refroidir, et donne, même avec une coulée chaude, une mince croûte sur les parois à mesure que le niveau s'abaisse.

L'accident est plus grave quand apparaissent les signes d'une coulée froide. On fait rapidement de gros lingots pour interrompre moins souvent le jet, et même on remplit les lingotières successives sans fermer le tampon, qui risquerait de rester figé sur son siège. Des bavures se solidifient autour de la busette : on les arrache en les repoussant avec un ringard, ou mieux une perchette de bois qui ne refroidit pas le jet; malgré ces précautions, l'orifice diminue peu à peu, puis l'écoulement s'arrête.

Lorsqu'il est possible de travailler sous la poche, on enfonce à coups de masse trois pinces qui prennent appui sur la rondelle entourant la busette; en faisant levier, on arrache le métal et on tire la *carotte* qui obstruait l'orifice : on peut ainsi achever la coulée. Avec des coulées très froides, on arrive à arracher la carotte sans parvenir à percer la croûte devenue trop épaisse; il n'y a plus qu'à couler par le bec.

Si la poche n'est pas mobile verticalement ou si elle ne se déplace qu'à une faible hauteur au-dessus des lingotières (fours à sole qui ne sont pas en batteries), il est impossible de travailler sous la poche pour attaquer la busette; on fait immédiatement la coulée par le bec. Les fosses qui sont desservies par des poches semblables ont à leurs extrémités des chambres cloisonnées de murettes, et destinées à recevoir le contenu de la poche : les cloisons de brique ont un

léger talus pour que le scraps se soulève sans arrachement, et le fond est recouvert de sable sec ; de plus, on y dispose des barres de fer rond recourbées en crochet et dont les deux branches sont un peu écartées; elles serviront ensuite d'anneaux pour retirer le loup et le transporter au mouton. Avant de couler par le bec, on protège le chariot par de vieilles tôles, puis on renverse la poche lentement et complètement dans la chambre; on recouvre ensuite le métal de sable ou de terre pour ne pas être incommodé par le rayonnement.

L'opération est plus facile avec les poches automobiles à plusieurs mouvements. Sur le chemin parcouru par le chariot, on dispose, en choisissant les plus grandes, de vieilles lingotières hors de service. Le bec a été grossièrement préparé très étroit avec un peu de terre, on verse en inclinant la poche, qu'on redresse pour passer de l'une à l'autre. S'il n'y a pas trop de bavures, on peut démouler les lingots obtenus : ils servent à fabriquer de l'outillage commun, car leur métal est plein de soufflures et de grains de crasse.

La poche conserve sur les parois et sur le fond une croûte figée appelée *fond de poche*. Dès qu'on a fini de couler, on enlève aussitôt la traînée qui reste sur le bec en la frappant à la masse alors qu'elle est encore chaude, pour qu'elle ne puisse former au-dessous, par les bavures, un crochet qui exigerait le burin ; on fait de même pour le trou de la busette. Les parois latérales sont ensuite attaquées avec des pinces pour ramener vers l'intérieur les infiltrations qui se sont faites entre les joints; on arrose en même temps la poche pour que le métal se détache par contraction. Le fond seul tient encore : on l'attaque par le trou de la busette convenablement dégarni, en frappant avec un petit mouton sur le fond de poche lui-même, pendant que l'on agit à l'intérieur avec des pinces pour l'ébranler. Lorsqu'il est détaché, il suffit de le pousser pour qu'il tombe seul.

Si les coups n'ont pas suffi, on redresse la poche et on introduit dans le trou, par-dessous, une billette solidement appuyée sur le sol, puis on fait descendre la poche pour qu'elle repose de tout son poids sur ce soutien par le fond de poche, qui se sépare.

Si on ne réussit pas dans cette opération, il faut abandonner la poche et en prendre une autre. La poche avariée sera reprise après refroidissement complet pour essayer de nouveau l'extraction du fond de poche, après dégarnissage partiel des briques supérieures; le loup qu'elle contient est attaché au crochet d'une grue et s'arrache finalement. Si la poche n'est pas trop endommagée, on répare les fissures des briques, et on la met de nouveau en usage pour

quelques coulées; cependant, il est d'ordinaire plus prudent de la démolir complètement.

Les fonds de poche sont emmenés au casse-fonte, et débités comme scraps.

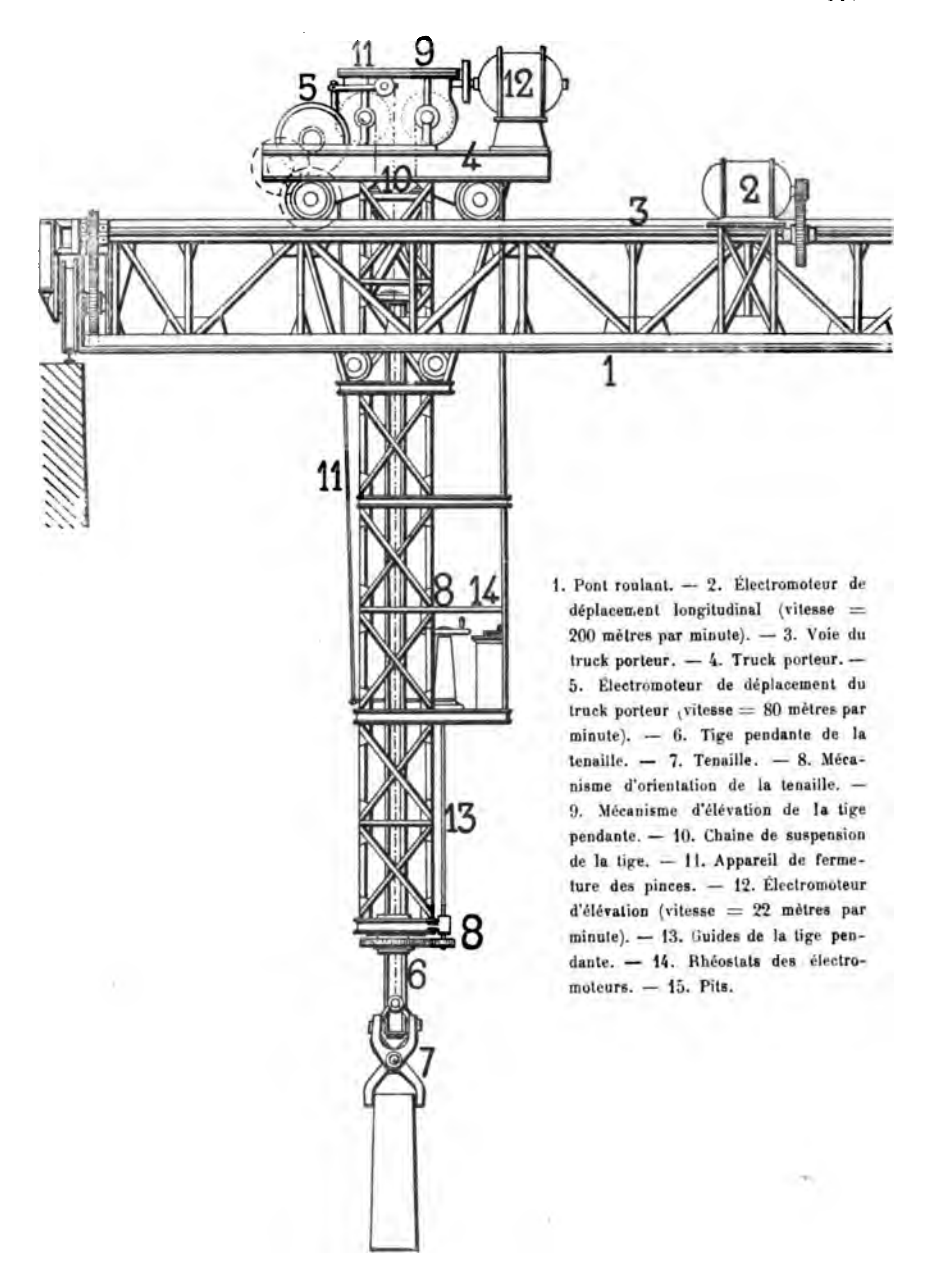
Appareil de manœuvre. — Le chariot ou la grue qui portent la poche peuvent être immobilisés par accident pendant la coulée : il faut alors s'ingénier à vider la poche de ce qu'elle contient encore de métal, parce qu'un loup solidifié dans une poche est difficile à enlever, à transporter et à casser, et que quelquefois même on doit dériver la poche pour sortir le bloc.

On coulera donc au plus vite dans toutes les lingotières qui sont ou qui peuvent être placées dans le chemin que peut encore parcourir la busette. Le reste de métal sera versé à terre par la busette si c'est possible, ou par le bec, dans une cuvette dont on a établi à la hâte les bords avec de la poussière bien sèche. L'enlèvement de ce loup sera plus commode si l'on dispose dans la cuvette une couple de crochets s'appuyant sur le sol et qui auront leur base noyée dans le métal. Il est toujours préférable, quand on le peut, de couler par la busette, parce que les projections sont plus faibles, et que les bords de la poche n'ayant pas de bavures, elle peut encore être employée.

Avec les poches susceptibles d'un mouvement vertical, il est prudent que les lingotières restent au-dessous du niveau qu'a la poche dans sa position la plus basse : en cas de mauvais fonctionnement subit de l'appareil d'élévation, le fond de la poche ne pourra s'appuyer sur les lingotières, ce qui risquerait de la faire basculer en renversant son contenu. Comme d'ailleurs la poche doit rester sensiblement verticale pendant la majeure partie du temps de la coulée en lingotières, on peut, par surcroît de précaution, attacher son bord supérieur à un point fixe du chariot porteur au moyen d'un tirant à œil ovalisé, qui permet simplement les mouvements de faible amplitude nécessités par la coulée, mais qui s'opposerait à un déversement.

ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES ACIERS

Prise du lingot d'essai. — Des essais sont faits à chaque opération pour déterminer les qualités et la nuance du métal. Pendant le rem-



1. Pont roulant. — 2. Électromoteur de déplacement longitudinal (vitesse = 200 mètres par minute). — 3. Voie du truck porteur. — 4. Truck porteur. — 5. Électromoteur de déplacement du truck porteur (vitesse = 80 mètres par minute). — 6. Tige pendante de la tenaille. — 7. Tenaille. — 8. Mécanisme d'orientation de la tenaille. — 9. Mécanisme d'élévation de la tige pendante. — 10. Chaine de suspension de la tige. — 11. Appareil de fermeture des pinces. — 12. Électromoteur d'élévation (vitesse = 22 mètres par minute). — 13. Guides de la tige pendante. — 14. Rhéostats des électromoteurs. — 15. Pits.

Pont roulant pour le transport des lingots aux pits.

plissage des lingotières, on coule un petit lingot de 6 à 15 kilogrammes, soit directement avec la poche, soit au moyen d'une pochette. La prise de l'éprouvette et le traitement qu'elle subit ont toujours lieu dans des conditions identiques pour que les résultats obtenus soient comparables. Dans les aciers de conversion, la composition du métal, du commencement à la fin de la coulée, varie assez peu pour ne pas être une cause d'irrégularités, mais elle est néanmoins sensible avec les aciers durs : les derniers lingots sont plus pauvres en manganèse, carbone et silicium, et contiennent plus de phosphore, parce que les réactions se sont achevées dans la poche. On prend l'éprouvette après le premier tiers de la coulée; une seconde est prélevée au lingot suivant pour servir de témoin.

On a, pour les éprouvettes, des lingotières borgnes très coniques, placées entre les grandes lingotières et qu'on remplit d'un seul jet lorsque la busette passe au-dessus. Comme ce procédé produit des éclaboussures, on lui préfère souvent l'intermédiaire d'une pochette ; celle-ci, remplie après la coulée d'un lingot en laissant la busette très peu ouverte, est aussitôt versée dans la petite lingotière. Les lingots tendraient à remonter à cause de leur solidification brusque, si on n'avait pas soin de les couvrir; ils sont immédiatement démoulés et portés à la forge. Le second est marqué à chaud du numéro de la coulée, et le premier est forgé aussitôt, après ou sans réchauffage selon sa température et la nuance du métal.

On effectue sur ce lingot des essais de travail à chaud et à froid, de pliage avant et après trempe, de traction, et des essais chimiques. Il est étiré à chaud pour donner les éprouvettes nécessaires à ces divers essais : la tête est aplatie pour pouvoir être saisie par une tenaille, et les éprouvettes sont forgées dans le pied, car la tête est souvent rendue pailleuse par la remonte.

Essais de travail à chaud et à froid. — Le martelage donne déjà des indications sur la malléabilité à chaud du métal : un acier sulfureux ou trop oxydé crique au pilon. Il est alors préférable, si l'on a des doutes, de ne pas envoyer au laminoir la coulée correspondante qui n'y donnerait probablement que des rebuts : on la met au parc : plus tard on en essaye au laminoir un lingot sur les résultats duquel on se base. Un forgeage passable ne prouve pas que les lingots se comporteront bien au train, la température étant souvent supérieure à celle où le métal crique le plus facilement et qui est voisine de celle des dernières passes.

A l'extrémité de la barrette obtenue par étirage, on forge, après l'avoir affranchie, un carré de 18 à 20 millimètres de côté, long de 20 centimètres environ. Quand le métal est de l'acier doux, il est trempé, puis plié à froid et écrasé au pilon pour amener les deux branches en contact. Le rayon de courbure intérieur indique l'allongement, qui, pour des aciers de même composition, est intimement lié à la résistance.

L'acier extra-doux, présentant à la traction une résistance inférieure à 40 kilogrammes par millimètre carré, doit plier à bloc sans criques aux angles. L'acier ordinaire de construction, donnant une résistance de 42 à 46 kilogrammes, est difficilement plié à bloc, et il crique légèrement à l'angle intérieur; cette rupture ne se produit quelquefois qu'après le refroidissement du métal que l'énorme travail moléculaire effectué par un brusque pliage a échauffé jusqu'à 150°.

L'acier courant au-dessous de 45 kilogrammes ne prend pas la trempe; pour des nuances plus dures, on forge deux éprouvettes de pliage : l'une est trempée, l'autre refroidie lentement à l'air. La comparaison des pliages montre l'influence de la trempe, et spécifie la dureté.

Pour l'acier dur, il est inutile de faire un pliage après trempe. On étire un barreau carré de 30 centimètres de long, qu'on entaille à coups de tranches de 2 en 2 centimètres sur le tiers de sa longueur; on réchauffe 7 à 8 centimètres de cette extrémité dans le brasier, puis on la trempe brusquement à l'eau froide. Il est ensuite facile de détacher au marteau successivement les fragments entaillés qui ont subi l'action de la trempe : la finesse du grain dévoile la dureté du métal. La première cassure, qui a été fortement chauffée, a d'ordinaire un grain brillant; la seconde a la texture la plus finement grenue, et les suivantes sont de plus en plus grossières.

Sur la partie du barreau non trempée, on fait un essai de pliage dont les indices de comparaison ne sont probants qu'avec des éprouvettes et dans des conditions rigoureusement semblables. Cette barrette est engagée de 6 à 8 centimètres entre l'enclume et la frappe d'un marteau-pilon où elle est comme encastrée, et l'extrémité qui dépasse est frappée à la masse, par coups réguliers, jusqu'à rupture. L'angle de rupture suffit pour caractériser la résistance du métal avec une approximation de 3 à 4 kilogrammes : un angle de 90° représente une résistance de 70 kilogrammes par millimètre carré; le métal de 60 kilogrammes casse sous un angle de 70° et celui de 75 kilogrammes ne dépasse pas 100 ou 105°. Cet essai dure

quinze minutes, et ses résultats sont utilisés pour le réglage de l'opération suivante.

L'acier très doux destiné à l'étirage est soumis à un essai d'écrasement à froid sur l'extrémité d'une éprouvette de pliage. On la frappe au pilon à coups répétés pour l'étaler en éventail et la rendre 4 ou 5 fois plus mince : si l'acier supporte cette épreuve sans criques, il est d'une qualité propre au tréfilage.

Essais de traction. — Les essais de résistance à la traction sont les plus exacts; ils peuvent être faits avec toute la précision voulue, et ils donnent simultanément la dureté, l'allongement et la texture du métal. L'éprouvette est prise au milieu du lingot d'essai; étirée d'abord en barre carrée dont on aplatit les angles au pilon, elle est, après réchauffage, achevée dans une étampe ronde où on la retourne constamment sur elle-même, pendant que le pilon frappe à petits coups répétés. Il est important que, pour ce travail, l'éprouvette soit encore chaude, sinon on l'écrouit, ce qui peut augmenter sa dureté relative de 15 0/0. L'acier dur, martelé trop froid, ne donne pas de résultat à la traction : il est devenu fragile, et il casse sans allongement avant d'avoir atteint sa charge maxima.

Le refroidissement, ayant une influence sensible sur la résistance des métaux durs susceptibles de tremper, doit être effectué d'une manière uniforme. Le meilleur moyen est de réchauffer au rouge cerise l'éprouvette de traction après l'avoir marquée de son numéro de coulée, et de la laisser environ une heure dans le sable, jusqu'à ce qu'elle puisse être prise à la main; elle peut alors achever de se refroidir à l'air. Les éprouvettes d'acier doux, légèrement réchauffées, sont simplement refroidies à l'abri des courants d'air.

On accélère le refroidissement des éprouvettes d'acier dur en les plongeant dans un tube en fer qui les protège de l'air, et qui leur donne une légère trempe; mais il faut tenir compte de cette trempe dans le résultat obtenu : elle augmente la dureté de 2 à 8 kilogrammes, selon la rapidité du refroidissement et les circonstances extérieures. De nombreux essais préalables faits sur deux éprouvettes de même métal, l'une étant refroidie à l'air, l'autre dans le sable, donnent l'échelle de correspondance. Les indications fournies par ce procédé sont plus rapides, mais moins exactes qu'après refroidissement lent, aussi est-il bon de les vérifier.

Il n'est pas d'usage de tourner l'éprouvette avant l'essai, ce qui serait une autre cause de retard. Elle est cassée brute, et on lui attri-

bue comme dimension la moyenne de deux diamètres perpendiculaires.

Les essais mécaniques des éprouvettes ne portent ordinairement que sur deux quantités : la résistance en kilogrammes par millimètre carré de section et l'allongement pour 100. La longueur utile sur laquelle se mesure cet allongement est de 100 ou 200 millimètres. Il est à remarquer que l'allongement unitaire est d'autant plus grand que la longueur utile de la barrette est plus faible : pris sur 200 millimètres de longueur utile, il n'est que de 80 à 85 0/0 de l'allongement unitaire pris sur 100 millimètres. Il est préférable de prendre cette dernière longueur utile avec des éprouvettes non tournées, parce qu'il est difficile d'obtenir par forgeage une barrette ayant un diamètre uniforme sur plus de 120 à 150 millimètres de longueur.

On conçoit que, si l'éprouvette présente plusieurs points de section plus faible, il s'y produise des allongements locaux : l'allongement unitaire semble augmenté. Il semble au contraire diminué si la rupture a lieu près d'une extrémité, la partie encastrée n'étant pas libre de s'étirer normalement.

Les éprouvettes qui servent dans les réceptions d'aciers usinés sont tournées ; elles ont une section de 200 millimètres carrés (environ 16 millimètres de diamètre), et correspondent comme résultats à des éprouvettes brutes de 250 millimètres carrés, ce qui conduit à donner d'ordinaire aux éprouvettes brutes un diamètre de 18 millimètres.

Une formule empirique, adoptée dans les cahiers des charges, donne en fonction de la section, quand celle-ci varie, la longueur utile de l'éprouvette dont les résultats sont concordants pour un même métal :

$$L = \sqrt{66,67S},$$

L étant la longueur utile en millimètres ;

S, la section de l'éprouvette en millimètres carrés.

Comme cette formule est tout empirique, on arrondit en nombres entiers variant de 5 en 5 millimètres les indications qu'elle fournit. On prendra ainsi pour divers diamètres la longueur L.

Diamètre	Longueur utile
8	60
10	70
12	85
14	100
16	115
18	130
20	145

La longueur utile est mesurée avec un compas à ouverture fixe, et marquée de deux coups de pointeau. L'éprouvette est saisie dans la machine par des doubles mâchoires striées de barbes qui s'impriment dans la tête pendant la traction. La charge appliquée est donnée par la bascule adaptée à la machine; on note seulement la charge maxima qu'a supportée l'éprouvette, et non celle au moment de la rupture qui est toujours inférieure. On ne prend la limite d'élasticité que dans des cas spéciaux. Après rupture, on rapproche les deux tronçons pour mesurer l'allongement; la distance primitive entre repères est reportée au moyen du compas, ce qui permet de réduire à une valeur relative négligeable l'erreur absolue commise dans la première mesure.

La durée de l'essai peut faire varier le résultat de résistance, aussi doit-elle être constante pour une même nuance d'acier; elle dépend d'ailleurs de la dureté. Trop rapide, elle diminue l'effort que l'éprouvette pourrait supporter, à cause de l'inertie des molécules et de l'échauffement qu'elles subissent; l'application lente des efforts de traction augmente l'allongement apparent. Les aciers durs pour rails sont soumis très lentement à l'effort, sinon ils peuvent casser comme sous un choc, avant d'avoir atteint la charge maxima dont ils sont susceptibles; les éprouvettes ainsi cassées en charge présentent un allongement faible et même presque nul.

La traction produit un échauffement notable, croissant avec la rapidité de l'essai et capable d'atteindre 200°. Le travail moléculaire du métal se manifeste aussi par l'apparition de propriétés magnétiques : l'aimantation persiste dans l'acier riche en carbone, et cesse au contraire dès la rupture dans les métaux doux. L'intensité croît jusqu'à la teneur de 0,8 0/0 en carbone, tandis qu'un excès de manganèse l'affaiblit; un plus long effort et un plus grand allongement unitaire la rendent plus sensible. Les phénomènes ou thermiques ou magnétiques prédominent donc suivant les circonstances : tous deux se produisent sur tous les aciers, les seconds ne subsistent après rupture que si le métal a au moins 0,2 0/0 de carbone.

La texture après rupture, aussi bien que les essais à chaud et à froid, donne de précieuses indications sur la malléabilité. Un métal homogène présente une striction très prononcée et régulière : un des fragments se termine par un cône arrondi, l'autre par une cuvette à bords évasés; cependant, dans des éprouvettes non tournées, il peut arriver que de très bon métal ait sur chacun des morceaux une rupture partie en cône et partie en cuvette, à cause des inégalités de la sur-

face. Une texture en sifflet, avec allongement minime, est très défavorable : elle caractérise un métal encore oxydé, sujet aux criques, et difficile à souder; si l'on ne peut attribuer ces indices à un mauvais forgeage, il est prudent de réserver les lingots pour des usages communs.

L'acier doux a toujours une cassure à nerf. Le métal dont la dureté dépasse 65 kilogrammes est souvent à grain ; le pourtour de l'éprouvette reste à nerf, car les fibres y ont subi plus d'allongement qu'au centre, tandis que le milieu, qui s'est cassé brusquement après la rupture de la couronne nerveuse, présente un grain fin. Un métal sans élasticité casse uniformément à grain selon une section normale, ou même, s'il est de mauvaise qualité, suivant une direction irrégulière qui prouve son manque d'homogénéité.

Il n'est pas rare de trouver une soufflure centrale dans la cassure des métaux doux ; elle a été produite par la poche de retassement du petit lingot d'essai dont la forge a rapproché les bords sans les souder. C'est un mauvais présage : la soudure n'aura pas lieu non plus dans les lingots, car les parois de la cavité de retassement sont tapissées d'oxydes non réduits. La présence de ces oxydes est accusée sur les bords de la soufflure centrale, qui apparaît jaune verdâtre et non d'un bleu brillant.

Les soufflures dues au dégagement gazeux pendant la solidification se manifestent autrement : la soudure de leurs parois étant incomplète, des strictions locales se forment pendant l'étirage en modifiant la résistance de la section, et finalement le barreau présente un allongement anormal par rapport à sa résistance. Sur la cassure, les soufflures sont franchement ouvertes, ou plus souvent présentent des séries de points blancs, en relief ou en creux, qui sont comme des cuvettes créées par l'étirement des parois. Les bords mêmes de la soufflure cassent à grain entouré d'une partie nerveuse, et l'éprouvette semble être un faisceau de filets parallèles dont chacun aurait subi un effort de traction indépendamment des filets contigus. Les soufflures des aciers durs ont un aspect différent, mais sont plus rares : une couronne de nerf sur un fond de grains en relief ou en creux.

Le métal non laminable se trahit pendant la traction par des criques superficielles, des pailles, des dédoublements : indices suffisants pour exclure de tout usage les lingots de la coulée. Ils sont refondus au four Martin sans même devoir être essayés au train.

Essais chimiques. — Les analyses qu'il convient d'effectuer varient

avec le mode de fabrication, et en sont le contrôle. Les procédés d'affinage sans déphosphoration sont réglés par la teneur en silicium, manganèse et carbone ; le dosage du phosphore et du soufre n'y est qu'un contrôle exceptionnel. Au contraire, dans les méthodes de déphosphoration, l'élément principal est le phosphore, dont le départ indique, non la nuance du métal final, mais le point auquel a été poussé l'affinage ; le manganèse et le carbone déterminent la dureté.

Les analyses métallurgiques appliquées à la fabrication ne sont pas nécessairement des travaux de haute précision scientifique ; il suffit qu'elles soient comparables entres elles. Les renseignements qu'elles donnent ne sont que relatifs, et la nuance du métal est plus exactement caractérisée par l'essai de traction. On trouve en effet de notables différences dans les qualités mécaniques de deux métaux qui, à l'analyse, donnent les mêmes chiffres en éléments principaux ; ainsi, des opérations Thomas de composition semblable en manganèse et en phosphore peuvent, d'après la température à laquelle elles ont été faites, présenter des variations de résistance de 3 kilogrammes : les coulées froides seront plus douces que les opérations trop chaudes de même composition. De même, la teneur initiale en manganèse de la fonte de conversion a peu d'influence sur la dureté finale du métal, quoiqu'elle en ait une très sensible sur la teneur en manganèse de l'acier.

Les procédés volumétriques sont les plus rapides pour les analyses de fabrication. Le manganèse est dosé par la méthode d'oxydation du permanganate de potasse, ou par celle qui emploie le tétraoxyde de bismuth. Le phosphore s'évalue par alcalimétrie, après précipitation par l'acide molybdique. On détermine le carbone d'après un acier type de même provenance, par la méthode colorimétrique Eggertz. Le soufre est rapidement séparé, après sa transformation en sulfure d'hydrogène, par la précipitation de l'acétate de zinc, puis par la dissolution du précipité par l'iode. Enfin le silicium s'obtient toujours pondéralement par pesée de la silice.

Le dosage simultané du phosphore et du manganèse ne dure que trente minutes, à partir de l'instant où l'éprouvette est apportée au laboratoire. On peut donc, dans les aciéries à conversion, renseigner les opérateurs à chaque coulée sur l'opération faite une heure auparavant, et dans les aciéries à fusion sur sole, faire des analyses sur le métal en traitement, avant les additions finales.

On procède par les méthodes ordinaires quand il s'agit d'analyses plus exactes, de dosages complémentaires précis ou de recherches.

CHAPITRE XIX

POCHES ET APPAREILS DE COULÉE

POCHES A ACIER

Mode de coulée de l'acier. — La poche à acier est le récipient intermédiaire du métal entre sa sortie du four et sa répartition dans les lingotières. Elle sert en outre de mélangeur pour certaines additions durcissantes ou calmantes effectuées dans la poche elle-même; sa capacité doit donc être suffisante pour contenir le métal d'une opération, les additions comprises. Le refroidissement rapide de l'acier ne permet pas, comme cela se pratique pour la fonte, de remplir la poche en deux opérations, malgré la fréquence des coulées dans la conversion.

Lorsqu'on coule en poche, la couche de scorie qui recouvrait l'acier est en même temps versée dans la poche, et elle continue à le protéger. Si d'ailleurs la quantité de scorie écoulée est trop faible, on préserve le métal du refroidissement en jetant à sa surface de la poussière ou du sable qui se scorifie; la prise de l'acier est si prompte qu'une coulée, même normale, laisse une couche de métal solidifié sur toute la hauteur de la poche, si le rayonnement de la surface n'a pas été atténué par la scorie.

Cette solidification rapide oblige à employer un mode de coulée particulier qui réduise la surface de la veine liquide et augmente la vitesse.

Le bec d'une poche ne convient donc pas : la nappe s'y solidifie, s'élargit et devient irrégulière; les lingots coulés ainsi ont un aspect rugueux et leur texture est soufflée ; c'est le résultat d'un métal trop froid, déjà cristallisé partiellement avant sa mise en forme.

La coulée s'effectue par un orifice circulaire pratiqué au fond même de la poche, et obturé par un tampon réfractaire. Comme le jet est interrompu pendant la translation de la poche d'une lingotière à une autre, le tampon doit être manœuvré par l'extérieur pour permettre de régler le débit de l'orifice ou de le supprimer complètement. L'écoulement est accéléré par la pression que le métal exerce sur le fond de la poche ($0^{kg},780$ pour 1 mètre de hauteur) ; cette pression donne au jet une forme cylindrique et une vitesse qui permet de vider la poche en quelques minutes. Le diamètre de l'orifice doit être tel qu'un écoulement ininterrompu laisse passer tout le contenu en cinq ou six minutes; s'il n'est pas en rapport avec le nombre et les dimensions des lingots à obtenir, on emploie un second orifice semblable au premier, tous deux fonctionnant simultanément.

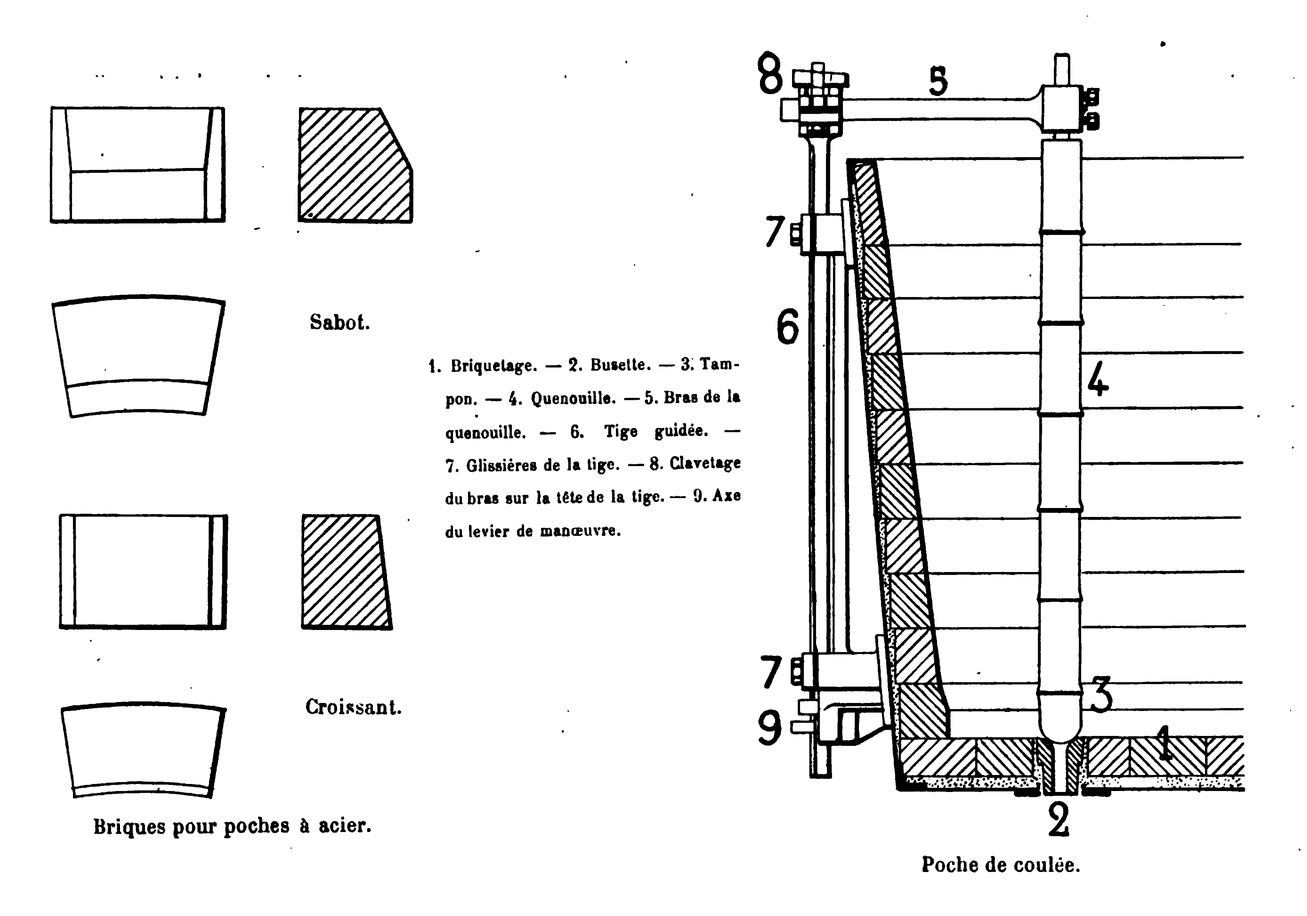
La vidange par le fond présente un autre avantage. La scorie qui a accompagné le métal ou qui provient des additions tend, par sa faible densité, à surnager et à se séparer de l'acier ; elle monte et ne peut pas être entraînée par le jet.

Les courants produits par la dépression à l'orifice de coulée sont limités, grâce à la fluidité du métal et à la forme même de l'ajutage; ils intéressent surtout le fond de la poche, c'est-à-dire le métal le plus dense et le plus froid, qui se trouve ainsi constamment réchauffé par de l'acier plus chaud venant des couches supérieures.

La busette de coulée subit l'action rongeante du métal et le frottement des veines liquides, aussi doit-elle être changée à chaque opération. Elle est formée d'une pièce réfractaire amovible, posée dans le fond de la poche et lutée avec un mortier réfractaire. La longueur de l'orifice est de 2 à 3 diamètres, et son sommet est évasé en courbe parabolique; ce profil est tel qu'il donne une direction parallèle à tous les filets pour que la veine reste cylindrique. La section circulaire subit une usure régulière qui lui permet de rester étanche pendant toute la durée de la coulée, et la tranche inférieure est normale à la direction du jet, de sorte que celui-ci ne peut pas être déformé par le métal qui s'y solidifierait à la sortie.

Les busettes sont de diamètres variés, appropriés à la nature du métal et aux dimensions des lingots. Un orifice de 28 à 30 millimètres convient pour des lingots inférieurs à 500 kilogrammes; il lui faut 35 millimètres pour les lingots de 1.000 kilogrammes et 40 millimètres pour ceux de poids supérieur.

On fixe la busette dans la poche soit par l'intérieur, soit par l'extérieur; dans le premier cas, sa forme est conique vers la base, avec



Briques pour poches à acier.

1. Briquetage. — 2. Busette. — 3. Tampon. — 4. Quenouille. — 5. Bras de la quenouille. — 6. Tige guidée. — 7. Glissières de la tige. — 8. Clavetage du bras sur la tête de la tige. — 9. Axe du levier de manœuvre.

Poche de coulée.

une couronne d'appui au milieu; dans le second, au contraire, la partie conique est dirigée vers le haut.

Le bouchon est également une pièce réfractaire à courbure sphérique; dans la position de fermeture, il appuie sur la partie évasée de la busette comme une soupape, mais sa surface d'appui doit être assez faible pour que, ramollies par la chaleur, les deux pièces ne se soudent pas. La courbure du bouchon est assez prononcée et en relation avec celle de la busette; ainsi la couronne de métal liquide qui avoisine la surface de contact est assez épaisse pour que, grâce aux mouvements de convection, la solidification ne puisse se produire en ce point. Quand cet accident se produit avant l'ouverture du tampon, il est difficile de vider convenablement la poche.

Une tige métallique garnissée de brique ou de mortier réfractaire est fixée au bouchon et sert à le manœuvrer. Cette quenouille s'élève jusqu'au-dessus du bord de la poche, et est reliée par un bras horizontal à une tige extérieure guidée. Sous l'action d'un levier, elle se déplace verticalement, et entraîne avec elle le bouchon qui reste soulevé à la hauteur voulue ou bien retombe sur son siège : on peut ainsi régler à volonté ou supprimer le débit de la busette.

Construction des poches. — La poche est formée d'une armature en tôle garnie intérieurement de matières réfractaires, et sur laquelle sont fixés les organes de manœuvre. Elle repose sur un appareil porteur par deux tourillons solidement attachés à la cuirasse, ou mieux à une ceinture entourant la cuirasse. Une vis sans fin commande un engrenage calé sur le prolongement de l'un des tourillons; elle donne à la poche la mobilité nécessaire à son déversement.

La forme légèrement conique permet, lorsqu'il s'est formé un fond de poche, de le retirer sans avoir à démonter la cuirasse, ni même à dégrader la maçonnerie. La section est circulaire ou ovale : cette dernière forme réduit l'écartement des tourillons pour une égale capacité, mais elle nuit à la rigidité. Le bord est renforcé par une solide cornière, et il porte trois oreilles qui servent à la suspension pendant les manœuvres. Il suffit que le bec de coulée soit peu prononcé, puisque ce mode de vidange ne sert qu'à verser la scorie qui reste au fond après le départ du métal.

Le garnissage des poches d'aciéries est toujours en briques; les pisés réfractaires ne donnent pas de sécurité et durent trop peu. Les briques doivent résister à la chaleur et à l'action de la scorie, aussi faut-il les prendre riches en alumine, surtout dans le procédé

basique où la brique siliceuse serait rapidement corrodée. Le garnissage basique des fours ne saurait non plus être employé, car l'arrosage que subissent parfois les poches n'est pas compatible avec la dolomie ou la magnésie.

Analyse d'une brique pour poches (aciérie Thomas) :

SiO^2	65,5
Al^2O^3	29,5
Fe^2O^3	1,0
CaO	3,0
MgO	traces

Comme, plus que partout ailleurs, les joints sont la partie faible, il est indispensable d'assurer entre les briques un contact parfait. On emploie dans ce but des formes spéciales de modèles variés pour obtenir la convergence des joints et l'évasement de la poche ; ces briques ont d'assez grandes dimensions afin de réduire le nombre des joints. Leur épaisseur, décroissante jusqu'au bord supérieur, varie de 12 à 7 centimètres ; l'assise inférieure, en contact avec le fond, est formée de briques dites *sabots*, munies vers l'intérieur d'une surépaisseur coupant le sommet de l'angle de raccordement.

La cuirasse est garnie d'un enduit réfractaire qui acquiert une grande résistance, et dont le but est de préserver la tôle dans le cas d'une infiltration de métal par les joints. Cette couche protectrice est, en outre, plus élastique, et se prête mieux que les briques aux effets de la dilatation.

Le fond de la poche est plan pour rendre la construction plus facile ; plutôt que de construire le fond incliné, on préfère verser légèrement la poche à la fin de la coulée pour avoir une vidange complète par la busette. Le briquetage est en carreaux de 12 centimètres d'épaisseur, posés en lignes parallèles à joints croisés ; l'emplacement de la busette est ménagé dans une brique spéciale perforée. Ces carreaux sont de qualité supérieure, très durs, bien cuits, et soigneusement choisis.

Les briques, d'abord ajustées s'il y a lieu, sont, par une immersion rapide, imprégnées d'un coulis réfractaire composé de brique broyée et tamisée (ou bien de chamotte) et de la quantité d'argile pure nécessaire à la plasticité. Ce coulis est, après pourrissage, passé à la claie ; il est assez liquide pour ne pouvoir être pris à la truelle. On commence le garnissage par le fond, en ayant soin que l'assise soit bien plane à la périphérie ; les briques du pourtour sont taillées

suivant la courbure de la poche, et on les fait coïncer par des éclats contre la tôle. On pose ensuite l'assise des sabots; les dimensions des briques sont choisies telles qu'on exécute l'anneau complet avec un nombre donné de pièces entières, sans avoir à retailler la dernière. Chacune est assujettie à coups de maillet, et l'intervalle qui existe entre son parement extérieur et la cuirasse est rempli de mortier et d'écailles.

Les assises supérieures sont placées successivement de la même manière, chacune étant en retrait sur celle qu'elle surmonte, pour qu'un fond de poche ne puisse s'accrocher en aucun point et qu'il soit facilement retiré sans arrachement. On atteint ainsi la cornière contre laquelle on cale la dernière assise. Le bec est fait de quelques briques taillées et ajustées sur place.

Il n'est pas toujours nécessaire, à chaque mise hors service, de refaire complètement le garnissage de la poche ; les rangées supérieures peuvent le plus souvent être conservées, mais alors la dernière assise de remplacement doit être fortement coïncée entre celles qui sont au-dessous et celles qui sont restées.

La construction du garnissage d'une poche de 15 tonnes demande de six à huit heures; un maçon et un aide suffisent.

Le séchage s'effectue très simplement en allumant à l'intérieur de la poche un feu de coke qu'on entretient pendant douze heures au moins. L'humidité disparaît peu à peu grâce à la porosité des joints; on facilitera d'ailleurs le départ de la vapeur avant qu'elle n'ait atteint une forte pression en pratiquant dans la tôle de la cuirasse des trous de 5 à 8 millimètres. Il n'y a pas lieu de rechercher un procédé de séchage perfectionné, car il serait dangereux de retourner la poche, le fond en haut, avant qu'elle ne soit bien séchée.

La durée des poches est variable avec la qualité des matériaux, le soin apporté dans la construction et le mode de travail. Dans les aciéries Martin, chaque four possède sa poche qui, par suite, ne fonctionne qu'à intervalles de six heures au moins; aussi se refroidit-elle suffisamment, sans être arrosée d'eau, pour qu'on puisse y pénétrer et la réparer. Après chaque coulée, on recouvre le garnissage, surtout au fond, d'un revêtement de mortier réfractaire qui sera seul attaqué et qui, par suite, demandera seul à être remplacé.

Ainsi employé, le garnissage d'une poche à acier peut atteindre 150 coulées. Mais, dans la conversion, la fréquence des opérations oblige à arroser les poches; en outre, on ne les revêt pas de terre réfractaire avant chaque emploi, aussi leur durée est-elle réduite et

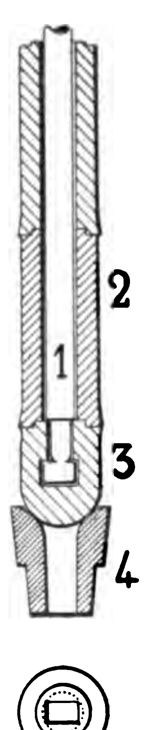
ne dépasse pas 30 coulées ; elle peut même s'abaisser à 15 ou 18 dans la fabrication d'acier dur à scorie manganésée plus rongeante que celle du métal doux. Une aciérie à conversion doit donc avoir deux poches prêtes à être employées, l'une pour succéder immédiatement à celle qui est en service, l'autre servant de rechange si la première — et le cas est fréquent — subit une avarie.

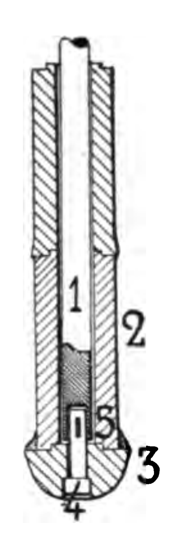
QUENOUILLES

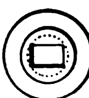
Le tampon est fixé sur la tige qui forme le corps de la quenouille par un assemblage résistant, et ne doit pas s'en arracher lorsqu'il a contracté quelque adhérence sur le siège. D'ordinaire, la tige se termine par une tête rectangulaire qu'on enfonce dans une mortaise de même forme pratiquée dans le bouchon; en donnant un quart de tour à la tige, on verrouille le bouchon sur la tête, et on le fixe dans cette position en bourrant la mortaise de brique pilée, au moyen d'un refouloir. D'autres fois, la tige est terminée par une partie à gros filets sur laquelle on visse le bouchon, taraudé de la même façon, après interposition de terre plastique humide pour remplir les vides. Enfin, le bouchon peut être traversé par un boulon à tête ronde dont on clavette l'autre extrémité sur la tige.

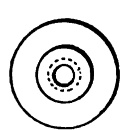
Le garnissage de la tige est fait avec des manchons en brique, ou par des couches superposées de mortier réfractaire qu'on étuve après fabrication. Les manchons s'enfilent sur la tige avec un jeu de 2 ou 3 millimètres, et s'engagent bout à bout par nervure et rainure concentriques. On forme sur chaque manchon un bourrelet de mortier clair avant d'enfoncer le suivant : celui-ci est ensuite calé solidement au maillet. Le dernier est maintenu coïncé sur la tige par des cales de bois, puis surmonté d'un garnissage en terre de 15 à 20 centimètres pour protéger la tige contre les éclaboussures et le rayonnement. Les quenouilles sont ensuite séchées, et laissées à l'étuve jusqu'au moment de leur emploi.

Lorsque au lieu de manchons on emploie la terre réfractaire, on prépare un mélange de sable siliceux et d'argile qu'on laisse pourrir plusieurs jours. La tige, munie de son tampon, est recouverte de la base au sommet d'une première couche bien pétrie, qu'on rend rugueuse par endroits en la comprimant avec les doigts ; elle est







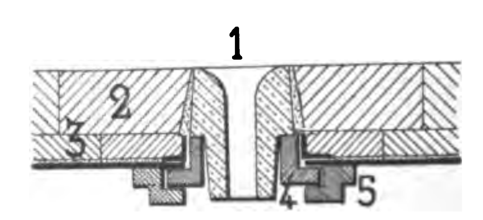


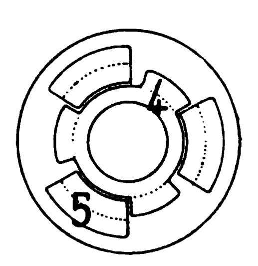
Quenouille avec busette posée par l'extérieur. Tampon mortaisé.

1. Tige de tampon. — 2. Manchon. 3. Tampon. — 4. Busette.

Quenouille à tampon claveté.

1. Tige de tampon. — 2. Manchon. — 3. Tampon. — 4. Boulon à tête ronde. — 5. Clavette.





Busette posée par l'extérieur.

1. Busette. — 2. Garnissage de la poche. — 3. Brique de cuirasse. — 4. Bague de calage. 5. Rondelle agrafe.

ensuite étuvée. La dessiccation a fait fendre le garnissage : on bouche les fissures avec du mortier frais, et on assure son adhérence en l'entourant de deux spirales en fil de fer. La seconde couche est alors façonnée ; pour la lisser, on la tournasse à la main en imprimant à la quenouille une rotation alternative au moyen du pied. Un second étuvage plus chaud que le premier produit encore quelques fentes : on les remplit d'un coulis très liquide qui peut pénétrer jusqu'à la surface de la première couche. On termine par un troisième séjour à l'étuve, après quoi les quenouilles peuvent être mises en service. Les tiges, en fer rond de 30 à 35 millimètres, sont ainsi recouvertes d'une couche réfractaire de 30 à 50 millimètres.

L'étuve affectée au séchage est une chambre voûtée, chauffée à une extrémité par un foyer dont le rampant débouche sous une sole formée d'une plaque de fonte perforée ; une ouverture pratiquée dans la voûte à l'autre extrémité assure le tirage, d'ailleurs très faible. Les quenouilles terminées sont placées près du foyer, où la température atteint 250°, tandis qu'elle s'abaisse à 100° vers la cheminée : c'est là que sèchent celles qui n'ont encore que leur première couche. Le foyer est alimenté avec des déchets de coke.

Les tiges durent tant qu'elles n'ont pas été en contact avec le métal qui les recouvre de scraps ou les coupe. Avant la mise hors d'usage, elles sont maintes fois réparées ; on redresse à chaud celles qui sont courbées, on ressoude bout à bout celles qui ont été coupées.

PRÉPARATION DE LA POCHE POUR LA COULÉE

Dès que la poche est vidée dans les lingotières, on l'amène au-dessus d'une fosse de décrassage, et on fait écouler la scorie par le bec. Avant que la poche ne soit complètement renversée, on démonte l'attache de la glissière extérieure avec la quenouille ; celle-ci tombe à terre et se brise : on la retire pour mettre la tige en sûreté. La busette, également hors de service, est cassée à la pince.

Pour des coulées espacées, on laisse la poche se refroidir seule avant d'enlever la scorie ou les scraps qui y adhèrent. On emploie à cet effet des pinces en acier au creuset, très dur, résistant et flexible, de préférence à l'acier ordinaire, qui se brise fréquemment et dont les fragments projetés pourraient blesser les ouvriers. Dès que le

séjour y est supportable, le pocheur descend à l'intérieur; placé sur une planche de bois, il répare au mortier épais les points endommagés, et effectue un garnissage complet de 15 à 20 millimètres sur les parois et de 30 à 40 millimètres sur le fond. La busette, placée dans son logement, y est calée avec des écailles de brique noyées dans le mortier.

Les coulées fréquentes nécessitent un refroidissement de la poche. L'arrosage se fait à la lance, pendant que la poche est inclinée pour que l'eau n'y séjourne pas; on le limite d'ailleurs au refroidissement de la surface, car l'eau fendille la brique scorifiée, et délaye les joints; il faut aussi conserver à la poche assez de chaleur pour qu'on n'ait pas à la réchauffer pour la coulée suivante. Les seules réparations possibles sur une poche chaude sont de couvrir de mortier les parties détériorées et les joints trop creusés, mais elles sont de courte durée et d'usage incertain; aussi est-il prudent d'abandonner la poche dès qu'elle semble devenir trop mince en quelque endroit, à cause des graves accidents amenés par une percée.

Il est possible, même sans descendre dans une poche chaude, d'y placer la busette par l'intérieur. Elle est d'abord rodée sur un bouchon, afin d'assurer le contact des surfaces, puis enduite tout autour de mortier siliceux. Se plaçant de côté, le pocheur la descend au bout d'une tige de fer munie d'un ergot qui la soutient, et la place dans son logement, tandis qu'un aide, se mettant au-dessous de la poche, engage une tige dans l'orifice de la busette et la maintient verticale pendant que le pocheur l'assujettit.

L'arrosage et le temps pendant lequel l'ouvrier est exposé au rayonnement sont réduits au minimum quand les busettes sont posées par l'extérieur. On les fixe par une couronne à secteurs évidés dont les bras prennent appui sur les secteurs pleins d'un anneau similaire fixé au fond de la poche.

La quenouille est apportée près de la poche à sa sortie de l'étuve. On rode rapidement le tampon en le frottant avec une busette; il est ensuite mis en place après qu'on a semé sur la busette une mince couche de sable fin qui produit un contact plus élastique. L'aide tient la quenouille verticalement pendant que le pocheur y fixe le bras horizontal qui la rend solidaire de la glissière de manœuvre; ce bras s'attache par deux vis de serrage, et l'assemblage est recouvert d'argile pour le protéger des éclaboussures pendant la vidange du four. L'autre extrémité du bras s'engage dans la tête de la glissière, formée de deux mâchoires qu'on resserre fortement par un boulon à

clavette; pour cette opération, la position de la glissière doit être voisine de la fin de course inférieure, mais non jusqu'à ce point, afin qu'il soit possible de la descendre un peu plus, ainsi que la quenouille, lorsque la busette et le tampon se seront usés tous deux sous le frottement du métal coulant. Il est bon de faire manœuvrer plusieurs fois la quenouille, une fois posée, pour s'assurer qu'elle se déplace bien verticalement et que le bouchon retombe exactement sur son siège.

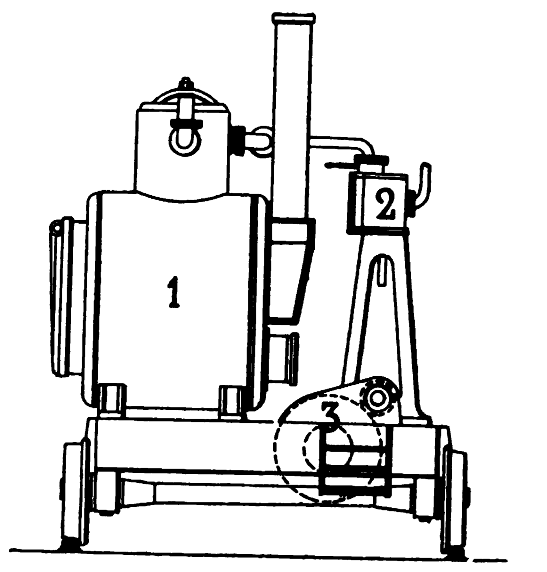
Si l'on n'a pas le temps suffisant pour préparer la poche entre deux opérations trop rapprochées, on doit alors avoir deux poches en service, qui sont placées alternativement sur l'appareil de coulée. La manœuvre s'effectue au moyen d'une grue auxiliaire si l'appareil est une grue centrale, ou sans intermédiaire si la poche est portée par un chariot automoteur ou un pont roulant.

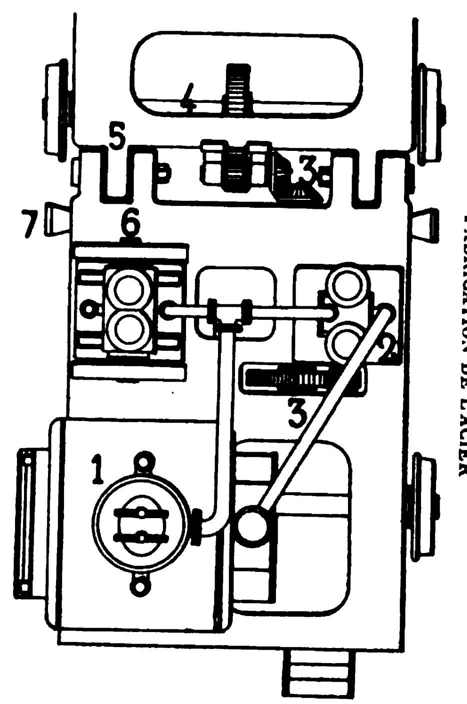
Les poches des fours Martin doivent être réchauffées avant la coulée. On les retourne au-dessus d'un foyer soufflé, et en moins d'une heure on arrive à une température suffisante (400° environ) pour éviter la formation de fonds de poche. Il est naturellement indispensable, avant le retournement, de caler soigneusement les glissières et les quenouilles dans leur position de fermeture, pour qu'elles ne prennent d'elles-mêmes aucun mouvement; on évite toutefois de serrer à froid la quenouille sur son siège, car par la chaleur elle s'allonge beaucoup plus que la poche.

APPAREILS DE MANŒUVRE

La manœuvre des poches à acier varie avec la disposition des installations. Elle peut avoir lieu avec des chariots à bras, des chariots automoteurs à vapeur ou électriques, des grues hydrauliques fixes ou des ponts roulants.

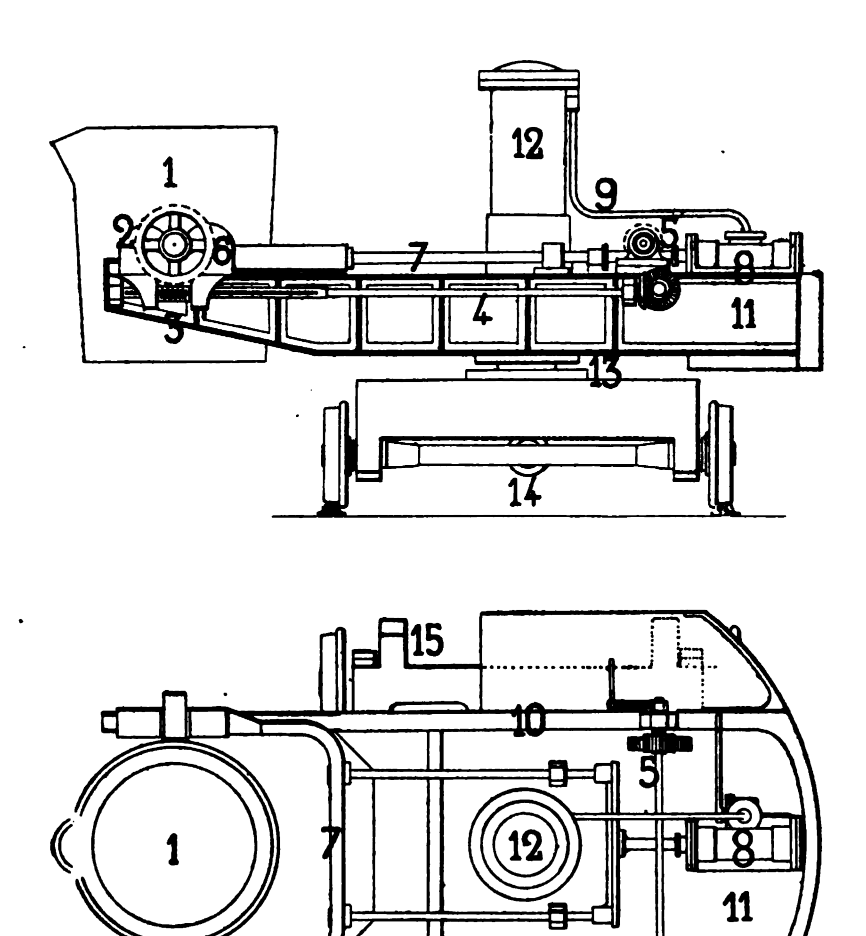
Chariots. — Le chariot des aciéries Martin ne possède d'ordinaire qu'un mouvement rectiligne qui amène la busette successivement au-dessus d'une rangée de lingotières; celles-ci ont leur tranche supérieure sur un même niveau horizontal, et aussi près que possible de l'orifice de la poche. Ce déplacement longitudinal est obtenu par un câble enroulé sur un cabestan, ou plus souvent par un train d'engrenages à deux vitesses agissant sur l'essieu d'arrière.





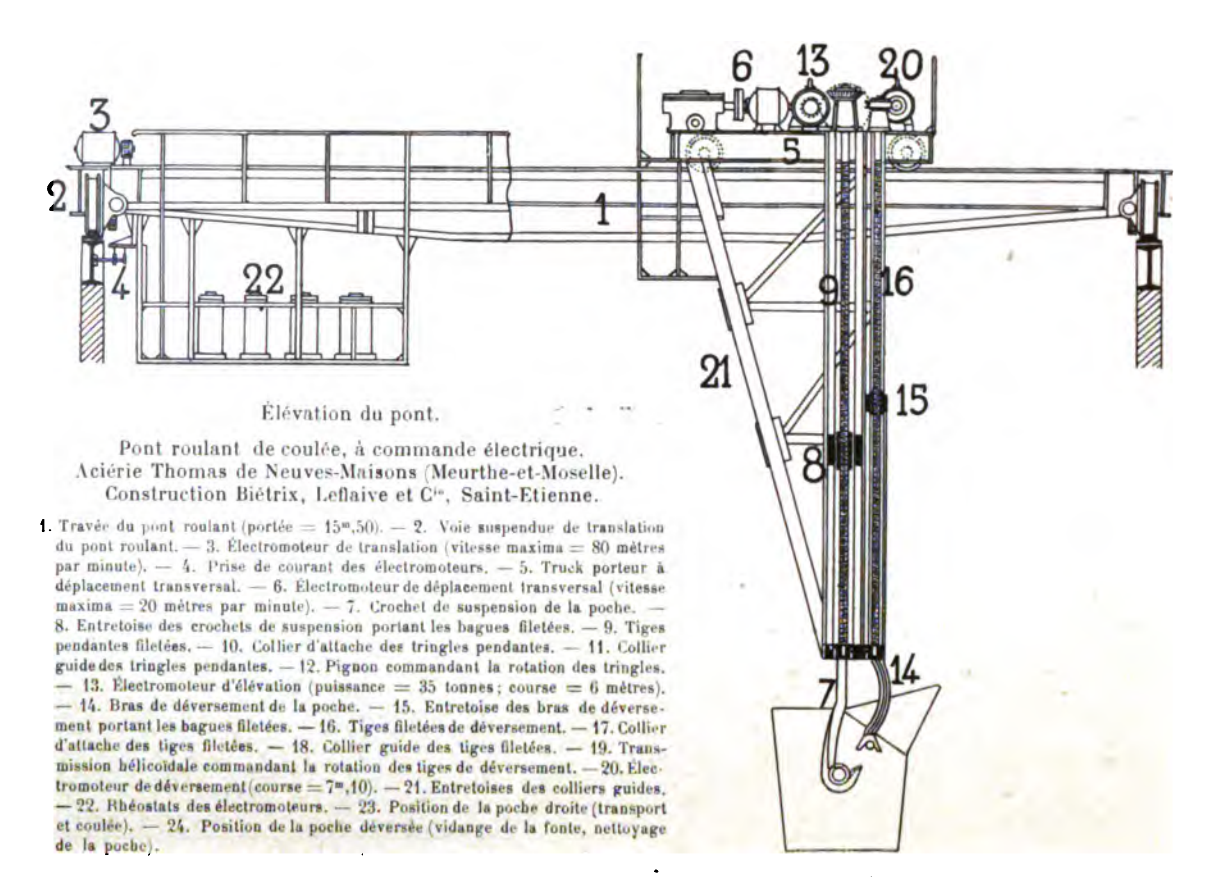
Chariot de coulée à vapeur.
Truck moteur.

1. Chaudière tubulaire à retour de flamme. — 2. Machine verticale commandant le déplacement du chariot. — 3. Train d'engrenages reportant l'effort de translation sur l'essieu moteur du train porteur. — 4. Essieu moteur du train porteur. — 5. Attelage du train porteur. — 6. Pompes de compression à vapeur, servant aussi à l'alimentation de la chaudière. — 7. Béquilles portant le train moteur lorsque le train porteur est dételé.



Chariot de coulée à vapeur. — Truck porteur.
Märkische Maschinenbauanstalt, à Wetter-sur-Ruhr (Allemagne).

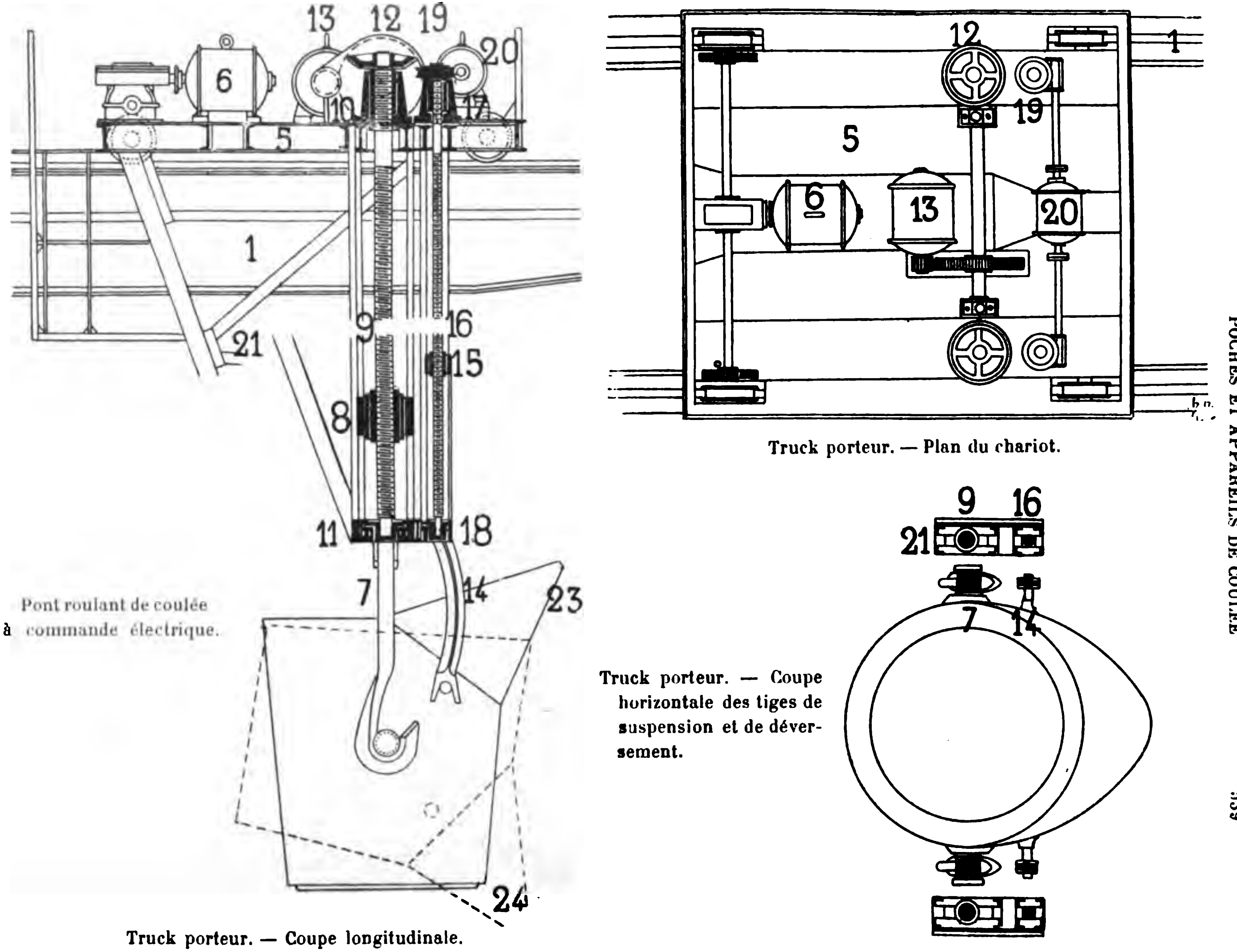
1. Poche à acier. — 2. Pignon à denture hélicoïdale. — 3. Vis sans fin commandant le versement de la poche. — 4. Arbre d'entraînement de la vis sans fin. — 5. Commande du mouvement de versement de la poche. — 6. Coussinets mobiles supportant les tourillons de la poche à acier. — 7. Cadre commandant le déplacement transversal de la poche. — 8. Cylindre hydraulique du déplacement transversal de la poche. — 9. Tuyau d'alimentation en eau sous pression du cylindre hydraulique. — 10. Flasques du châssis porteur de poche. — 11. Contrepoids. — 12. Cylindre hydraulique mobile. — 13. Piston fixé au truck. — 14. Tuyau d'eau sous pression. — 15. Attelage du train porteur.



Élévation du pont.

Pont roulant de coulée, à commande électrique.
Aciérie Thomas de Neuves-Maisons (Meurthe-et-Moselle).
Construction Biétrix, Leflaive et Cie, Saint-Etienne.

1. Travée du pont roulant (portée = 15m,50). — 2. Voie suspendue de translation du pont roulant. — 3. Électromoteur de translation (vitesse maxima = 80 mètres par minute). — 4. Prise de courant des électromoteurs. — 5. Truck porteur à déplacement transversal. — 6. Électromoteur de déplacement transversal (vitesse maxima = 20 mètres par minute). — 7. Crochet de suspension de la poche. — 8. Entretoise des crochets de suspension portant les bagues filetées. — 9. Tiges pendantes filetées. — 10. Collier d'attache des tringles pendantes. — 11. Collier guide des tringles pendantes. — 12. Pignon commandant la rotation des tringles. — 13. Électromoteur d'élévation (puissance = 35 tonnes; course = 6 mètres). — 14. Bras de déversement de la poche. — 15. Entretoise des bras de déversement portant les bagues filetées. — 16. Tiges filetées de déversement. — 17. Collier d'attache des tiges filetées. — 18. Collier guide des tiges filetées. — 19. Transmission hélicoïdale commandant la rotation des tiges de déversement. — 20. Électromoteur de déversement (course = 7m,10). — 21. Entretoises des colliers guides. — 22. Rhéostats des électromoteurs. — 23. Position de la poche droite (transport et coulée). — 24. Position de la poche déversée (vidange de la fonte, nettoyage de la poche).



Pont roulant de coulée à commande électrique.

Truck porteur. — Coupe longitudinale.

Truck porteur. — Plan du chariot.

Truck porteur. — Coupe horizontale des tiges de suspension et de déversement.

Cet appareil très simple ne permet pas de déplacer la poche transversalement pour amener la busette juste au milieu de la lingotière, ni de dégager cette busette lorsque le tampon s'y trouve soudé.

Grues centrales. — On plaçait autrefois les fosses de coulée devant les convertisseurs. Ils étaient desservis par une grue centrale sur laquelle la poche, décrivant une circonférence, était remplie sous le convertisseur et se vidait en passant au-dessus des lingotières. Ces grues obligent à placer les fosses près des convertisseurs, mais elles sont d'une installation simple, tout en donnant à la poche des mouvements dans trois directions rectangulaires.

Chariots automoteurs. — Ils permettent d'isoler les fours ou les convertisseurs, c'est-à-dire scindent la fabrication des lingots en deux ateliers distincts. La poche peut être déplacée suivant trois axes rectangulaires qui lui assurent un champ très vaste. Le mouvement longitudinal est produit par le déplacement de l'appareil tout entier, au moyen d'un moteur à vapeur ou d'un électromoteur. Le même mode d'énergie actionne les pompes de compression, portées par le chariot, d'un appareil hydraulique; le piston de cet appareil est relié à un châssis dont deux bras soutiennent la poche : celle-ci peut de cette façon recevoir un mouvement dans le sens vertical. Certains chariots à commande électrique déplacent la poche verticalement au moyen d'un levier. Le déplacement transversal s'obtient de deux manières : les mouvements de grande amplitude, assez rares d'ailleurs, sont effectués à bras par la rotation du châssis porteur de poche autour de son pivot; les faibles mouvements qui servent seulement à amener la busette au centre des lingotières sont produits par un piston hydraulique ou un mécanisme. Enfin le renversement, qui n'a jamais besoin d'être rapide, a toujours lieu à bras, au moyen d'une vis sans fin entraînée par un arbre rainé.

Les chariots à vapeur sont plus encombrants et plus onéreux que les appareils analogues à commande électrique, mais la sécurité de leurs manœuvres est plus grande. L'arrêt d'un électromoteur dépend de la rupture d'un fil, d'un contact, d'un démarrage trop rapide; le voisinage d'une forte chaleur n'est guère favorable à la conservation des isolants, et c'est précisément à l'instant où l'électromoteur est le plus exposé, lors d'une avarie, que son fonctionnement rapide serait le plus nécessaire.

Un chariot à vapeur comprend deux trains, l'un portant la poche

et ses agrès, l'autre les organes moteurs. Une machine à changement de marche assure le déplacement longitudinal, et une pompe à vapeur comprime l'eau nécessaire aux manœuvres de la poche et à l'alimentation de la chaudière ; celle-ci est de grande capacité pour emmagasiner un poids notable d'eau et de vapeur qui se trouve dépensé en quelques minutes pour une coulée.

Ponts roulants. — Les ponts roulants sont d'usage plus récent; leur avantage sur les chariots est d'avoir un champ d'action plus étendu, et de pouvoir servir d'appareils de levage dans les grosses manutentions à effectuer aux fours et aux convertisseurs.

Ils se déplacent sur une voie établie près de la toiture, afin de pouvoir transporter leurs charges au-dessus des fours. Ils sont susceptibles de donner aux poches des mouvements indépendants suivant trois directions rectangulaires, et d'en effectuer le renversement; les deux déplacements horizontaux sont toujours obtenus par des électromoteurs.

La poche est quelquefois suspendue par des chaînes ou des câbles qui, s'enroulant sur un treuil, élèvent leur fardeau à la hauteur voulue, mais les oscillations lui donnent une mobilité qui nuit à la précision de la coulée en lingotières. De plus, la sécurité est précaire, puisqu'elle ne repose que sur la résistance d'une chaîne ou d'un câble soumis à des torsions sur les poulies et les tambours d'enroulement. Il est préférable de suspendre la poche à deux tiges guidées par des coulisses, et de leur communiquer un mouvement vertical au moyen d'une crémaillère ou d'une vis mobile à écrou guidé : ce dernier mode de transmission est le plus rationnel, car la vis non réversible assure avec précision la position du fardeau. Le mécanisme élévateur est également commandé par un électromoteur de grande puissance.

Lorsqu'on emploie le car-casting, on munit fréquemment les trucks porteurs d'un appareil hydraulique de manœuvre qui les amène successivement sous la busette. Cet appareil est analogue à celui qui déplace les mêmes trucks sous le stripper. On substitue ainsi au mouvement d'un énorme poids suspendu à de longues tiges celui d'un wagonnet relativement léger qui accomplit sur une voie une translation assez faible : on y gagne en rapidité et en précision.

Les ponts roulants de coulée peuvent aussi être disposés dans une aciérie de conversion de façon à assurer les manœuvres des poches à fonte au mélangeur et aux convertisseurs. On possède

alors deux ponts semblables ; un seul suffirait au besoin pour le double service, mais on a ainsi toute sécurité. Cette disposition permet, en outre, de verser au mélangeur une coulée d'acier incomplètement soufflée, ou trop froide pour être mise en lingots, ainsi que de vider le mélangeur et de couler dans des lingotières la fonte qu'il contient.

CHAPITRE XX

ACIERS SPÉCIAUX

CONSTITUTION MOLÉCULAIRE DES ACIERS

Diverses théories ont été successivement émises sur la constitution interne des aciers. D'après l'hypothèse énoncée en 1876 par *Tchernoff*, l'acier est assimilable à une dissolution saturée de sels cristallisables, se comportant au refroidissement d'après des lois qui sont fonction de leur teneur dans la solution et de leurs affinités respectives. Sans préciser numériquement des températures, Tchernoff indique les modifications essentielles : l'une, produite au rouge vif, est la substitution de l'état amorphe à l'état cristallin ; l'autre se manifeste au rouge sombre par la disparition des propriétés de trempe.

Cette conception rend compte des phénomènes de trempe et de recuit pour les métaux composés presque exclusivement de fer et de carbone. Elle s'adaptait donc parfaitement au fer soudé, à l'acier fondu obtenu à cette époque par conversion ou par fusion sur sole, dans lesquels le carbone était l'élément essentiel qui venait corriger les propriétés du fer pur.

La découverte des aciers-alliages renfermant des proportions notables de métaux étrangers donna naissance en 1885 à la théorie d'*Osmond*. L'acier est supposé formé de la réunion de cellules identiques, dont la structure intime comprend un noyau central de fer sensiblement pur, la *ferrite*, enfermé dans une enveloppe de carbure de fer, Fe^3C, ou *cémentite ;* les proportions de l'une et de l'autre dans chaque cellule dépendent de l'état de carburation du métal. La cémentite n'est pas stable à une température supérieure à 700° ; elle

se dédouble, et le carbone se dissout uniformément dans la cellule, qui devient homogène.

Ainsi envisagée, la constitution de l'acier est analogue à celle des alliages; d'ailleurs, l'analyse chimique et divers phénomènes confirment cette hypothèse. Comme les réactions internes ne sont pas instantanées, le refroidissement brusque produit par la trempe conserve au métal l'état moléculaire qu'il possédait à chaud; un recuit longtemps prolongé sera favorable à la production de la cémentite, de même que la concentration lente d'une solution saline favorise la formation de cristaux volumineux. Aussi peut-on isoler chimiquement, par des réactifs d'énergie graduée, des lamelles noirâtres de cémentite sur une éprouvette recuite, alors que le même métal trempé présente à l'analyse le carbone uniformément dissous.

Les recherches métallomicrographiques poursuivies dans tous les pays ont permis d'admettre, outre la ferrite et la cémentite, divers autres constituants de l'acier. Telles sont la *perlite*, la *sorbite*, la *martensite*, l'*austénite*, la *troostite*.

La ferrite et la cémentite s'unissent selon des proportions déterminées en lamelles parallèles décelées par le microscope, et correspondant à une teneur moyenne de 0,9 0/0 de carbone : elles forment ainsi la perlite. Un acier renfermant moins de carbone que la perlite pure sera constitué par de la perlite et de la ferrite, et un métal qui possédera plus de 0, 9 0/0 de carbone comprendra de la perlite et de la cémentite.

Pour chaque acier, il existe une température T, en relation avec la quantité de carbone, au-dessus de laquelle le métal est uniquement formé de martensite, dont la composition chimique, indéfinie, varie avec celle de l'acier ; on peut la faire apparaître par une trempe effectuée au-delà de la température T.

Refroidi lentement depuis une température supérieure à T, un acier contenant moins de 0,9 0/0 de carbone laissera apparaître, en arrivant à T, de la ferrite dont la production augmente avec le refroidissement en laissant la martensite de plus en plus carburée. Lorsque cette dernière atteint 0,9 0/0 de carbone, elle se dédouble par libération brusque et simultanée de ferrite et de cémentite, c'est-à-dire de perlite. Inversement, dans un acier qui possède plus de carbone que le chiffre précité, la cémentite commencera à apparaître à T, tandis que la martensite s'appauvrira en carbone jusqu'au moment où, n'en contenant plus que 0,9 0/0, elle se transformera en perlite. L'état moléculaire de la martensite est à cet instant différent de celui de la

perlite, car la substitution de l'une à l'autre est brusque et s'accompagne d'un dégagement très sensible de chaleur, qui constitue la *recalescence*.

Aciers eutectiques. — Un phénomène analogue se constate dans la solidification des alliages métalliques. Parmi les divers mélanges de deux métaux, il en est un, l'alliage *eutectique*, dont le point de fusion est minimum ; tout autre alliage fondu laisse pendant sa solidification cristalliser en premier l'élément dont la proportion y est supérieure à celle qu'en renferme l'eutectique. Étendant cette dénomination aux aciers, on appelle acier eutectique celui qui a 0,9 0/0 de carbone; les autres aciers forment alors deux classes : les *hypereutectiques* et les *hypoeutectiques*, selon qu'ils ont plus ou moins de 0,9 0/0 de carbone.

Ces divers éléments subissent, en outre, des modifications secondaires. Ainsi la sorbite est une altération de la perlite dans laquelle les dimensions des composants sont si faibles que leur distinction devient impossible. Dans un métal contenant plus de 1,1 0/0 de carbone, la martensite se transforme soit en austénite par une trempe très brusque depuis plus de 1.000° jusqu'à 0°, soit en troostite lorsque les conditions extérieures diminuent l'intensité de la trempe. La production de ces deux éléments peut être simultanée sur une même masse de forte épaisseur : le premier prenant naissance à la périphérie, le second à l'intérieur, là où le refroidissement a été plus lent.

Points critiques. — Réversibilité. — Le fer existe au moins sous trois états allotropiques dénommés α, β et γ. Les points de transformation, ou *points critiques*, se manifestent par d'importantes modifications dans les propriétés électriques et magnétiques du métal; la température à laquelle ils correspondent est d'ailleurs en relation avec la composition chimique de l'acier.

Le métal est *réversible* si le cycle des transformations qu'il parcourt pendant son refroidissement coïncide avec celui qu'il a décrit pendant son échauffement. Il est irréversible dans le cas contraire : tel est l'acier qui renferme plus de 26 0/0 de nickel. Pratiquement, il n'existe pas d'acier strictement réversible, et dans les phénomènes se produit un léger retard, nommé *hystérise* (analogue à l'hystérésis magnétique des fers doux), qui est d'ailleurs d'autant moindre que le cycle est parcouru plus lentement. Un acier réversible pos-

sède pour une température donnée un état moléculaire bien déterminé, si cette température a été appliquée assez longtemps pour que les molécules aient pu s'orienter ou s'associer ; au contraire, un acier irréversible peut présenter divers états, selon les traitements antérieurs auxquels il aura été soumis.

Près d'un point critique T, est une température θ au-dessous de laquelle les forces de transformation sont insuffisantes pour vaincre l'inertie des molécules qui ne peuvent rompre leur état actuel. Aussi, en raison du retard, si l'on a refroidi un métal très brusquement à une température inférieure à θ, il est possible de le conserver en équilibre instable à un état très voisin de celui qu'il possédait à T ; c'est ainsi qu'on a pu étudier à froid les divers états moléculaires du fer aux hautes températures.

Les points critiques correspondant aux trois états sont, pour le fer doux, 745° et 860°. A 745°, il se produit une altération presque complète des propriétés magnétiques ; au delà de 860°, la résistance électrique reste constante, alors que de 0° à cette température elle s'était accrue dans le rapport de 1 à 10. Ces points critiques varient avec la proportion de carbone :

TENEUR EN CARBONE	TEMPÉRATURE DE TRANSFORMATION	
	AU CHAUFFAGE	AU REFROIDISSEMENT
Pour 100	Degrés	Degrés
0,00	748	745
0,30	738	722
0,60	730	715
0,90	725	700
1,50	718	693

Classification des aciers. — La classification des aciers basée sur leurs propriétés magnétiques comprend, d'après M. Osmond :

1° *Aciers non magnétiques :*

— Aciers renfermant plus de 1 0/0 de carbone, trempés ;

— Aciers renfermant plus de 13 0/0 de manganèse ;

— Aciers contenant 25 0/0 de nickel.

Ils sont déformables, mais se travaillent difficilement à froid ; les

aciers au carbone prennent une trempe positive ; ceux au nickel et au manganèse doucissent au contraire par refroidissement brusque, et durcissent au recuit.

2° *Aciers magnétiques non susceptibles de conserver une aimantation permanente :*

— Aciers ordinaires au carbone, refroidis lentement ou recuits ;

— Aciers contenant de 0 à 12 0/0 de nickel ou de 0 à 3,5 0/0 de manganèse.

Ils possèdent les propriétés de trempe positive.

3° *Aciers magnétiques conservant l'aimantation :*

— Aciers ordinaires ayant moins de 1 0/0 de carbone, trempés ;

— Aciers ayant 12 à 24 0/0 de nickel ou 3,5 à 7 0/0 de manganèse.

Leurs points de transformation sont inférieurs à 400°, par effet de la trempe ou de l'écrouissage, ou par suite de leur composition chimique.

ACIERS SPÉCIAUX

Aciers au carbone. — Les aciers carburés ont des points de transformation d'autant plus bas qu'ils sont plus riches en carbone ; ces points A_1, A_2 et A_3 se rapprochent et finissent par se confondre vers 680° pour l'acier à 1,24 0/0 de carbone. Les propriétés d'un acier peuvent être déterminées graphiquement : on porte en abscisses ces teneurs croissantes en carbone, et en ordonnées les points A_3, A_2, A_1 ; leurs lieux géométriques constituent un ensemble de trois lignes et délimitent divers segments ; les aciers dont les caractéristiques sont contenues dans l'étendue de chacun d'eux présentent des propriétés analogues de magnétisme et de trempe.

On détermine ainsi la température au-dessous de laquelle le métal ne trempe pas, et celle qui est préférable pour les effets qu'on attend de la trempe. La structure la plus fine, au grain le plus petit, correspond à la température de la recalescence, et coïncide avec le maximum d'élasticité et de résistance à la rupture de l'acier considéré ; il sera donc judicieux de chauffer pour la trempe jusqu'à une température un peu supérieure à celle de la recalescence. C'est ainsi que d'ordinaire l'acier à 0,5 0/0 de carbone se trempe au rouge orange clair ; celui à 0,9 0/0 de carbone, à l'orange, et celui qui a plus de 1 0/0, à l'orange sombre.

Aciers au manganèse. — Le manganèse, dans les métaux carburés, abaisse d'autant plus les points de transformation qu'il y est en plus grande quantité. Un acier renfermant :

	Pour 100
Carbone	0,3
Silicium	0,2
Manganèse	3,25

ne possède qu'un seul point critique, voisin de 400°; les lieux des points A_2 et A_3, sensiblement confondus, atteignent la température 0° lorsque le manganèse est à la teneur de 7 0/0; c'est-à-dire que les aciers à moins de 7 0/0 de Mn sont seuls magnétiques aux températures ordinaires.

Les aciers produits par voie électrolytique restent magnétiques jusqu'à 8 0/0 Mn et plus. La trempe et l'écrouissage ont une grande influence sur leurs propriétés.

ANALYSE		TRAITEMENT SUBI	TEMPÉRATURE DE TRANSFORMATION	
C	Mn		Au chauffage	Au refroidissement
Pour 100	Pour 100			
0,35	3,10	Sans trempe ni écrouissage	670	425
0,07	8,30	id. id.	660	175
0,07	8,30	Trempé	675	515
0,14	12,8	Sans trempe ni écrouissage	non transformé à — 80°	
0,14	12,8	Trempé	non transformé à — 80°	
0,14	12,8	Ecroui	630	540

Dans l'acier à 13 0/0 Mn, l'hystérésis est telle que le martelage à froid suffit pour la détruire.

La structure et les propriétés mécaniques varient avec la teneur en carbone :

CARBONE	MANGANÈSE	STRUCTURE
Pour 100	Pour 100	
De 0 à 0,3	De 0 à 5	Structure perlitique.
De 0 à 0,3	De 5 à 12	Martensite et fer γ.
De 0 à 0,3	Plus de 12	Structure polyédrique.
Plus de 0,7	De 0 à 3	Perlite avec ferrite ou cémentite.
Plus de 0,7	De 3 à 7	Troostite.
Plus de 0,7	Plus de 7	Structure polyédrique et fer γ.

Une augmentation de carbone, pour des aciers également manganésés, accroît beaucoup la résistance, sans que la fragilité varie dans le même rapport :

CARBONE	MANGANÈSE	RÉSISTANCE	ALLONGEMENT
Pour 100	Pour 100		
De 0 à 0,3	De 0 à 5	augmente	diminue
De 0 à 0,3	De 5 à 14	très élevée	très faible
De 0 à 0,3	De 14 à 35	diminue	augmente
Plus de 0,7	De 0 à 7	élevée	faible
Plus de 0,7	Plus de 7	moyenne	augmente

C	Mn	CHARGE DE RUPTURE	ALLONGEMENT	LIMITE D'ÉLASTICITÉ
Pour 100	Pour 100		Pour 100	
0,06	4,0	45	22	30
0,04	6,0	115	0	84
0,06	8,0	119	11	82
0,17	10,0	95	4	49
0,22	14,5	79	10	»
0,30	33,5	61	45	34
0,80	1,0	118	5	68
0,75	5,0	87	2	60
0,90	10,0	98	29	48

Le travail à chaud par forgeage ou laminage sur des aciers ayant plus de 18 0/0 de manganèse est difficile, parce qu'ils ne sont guère ductiles ni malléables : les lingots brûlent fréquemment et s'effritent par compression.

Aciers au silicium. — Le silicium a sur les propriétés des aciers une faible influence, encore atténuée par la présence du manganèse qui l'accompagne ordinairement.

Une teneur croissante en silicium rapproche les points A_1 et A_2, élevant le premier et abaissant le second jusqu'à les confondre à 700° pour une proportion de 4 0/0 de silicium. Le point A_3, d'abord abaissé, s'élève ensuite et se rapproche de 860°.

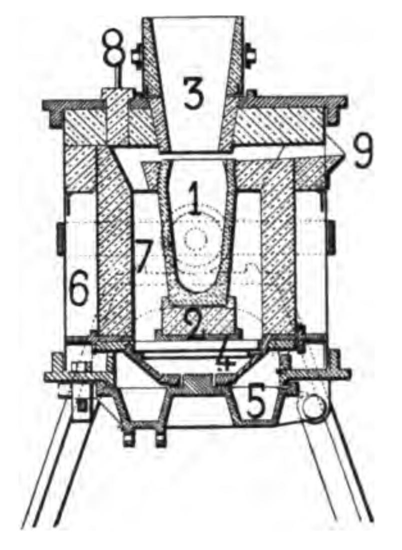
La résistance à la traction est augmentée par le silicium en même temps que la fragilité.

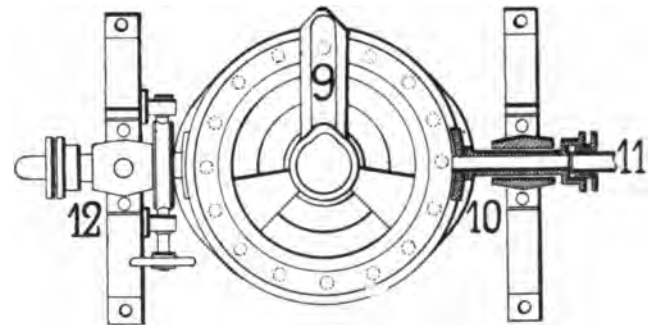
C	Mn	Si	CHARGE DE RUPTURE	ALLONGEMENT
Pour 100	Pour 100	Pour 100	Kilogrammes	Pour 100
0,20	0,20	0,80	54	22
0,20	0,25	2,10	62	14
0,20	0,30	3,40	74	7
0,25	0,30	5,00	75	0

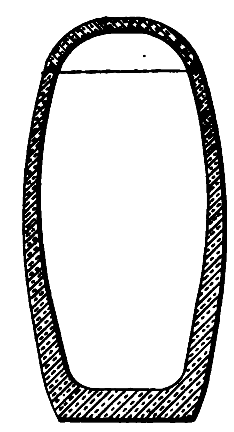
Jusqu'à 2 0/0 de silicium, les lingots peuvent être travaillés à chaud, même par laminage ; cependant ils sont exposés à brûler rapidement. Les pièces de fortes dimensions contenant plus de 1,2 0/0 de silicium se trempent difficilement : elles fendent pendant la trempe ou même après refroidissement par la fragilité du métal. On y réussit pour de faibles épaisseurs en modérant l'action de la trempe; il faut chauffer au rouge cerise et tremper quelques instants à l'eau jusqu'à un refroidissement voisin de 300°, puis, sans laisser la température s'abaisser davantage, recuire immédiatement au bois flambant et laisser refroidir lentement ; c'est ainsi que sont fabriqués les ressorts.

Il n'est possible d'obtenir des aciers siliciés et privés de manganèse que sur une sole acide ; d'ailleurs la facile oxydation du silicium oblige à faire les additions finales en atmosphère neutre dans un bain préalablement désoxydé. D'ordinaire, on raffine complètement le bain et on le chauffe pour la coulée après un dernier décrassage, puis on le recouvre de poussier de coke, et on ajoute le ferrosilicium concassé et porté au rouge; on donne ensuite un tour de crochet pour le mélanger, et on coule immédiatement. Pour cette fabrication, il est avantageux d'employer des ferrosiliciums très riches qui, ajoutés en moindre poids, fondent plus rapidement; le ferrosilicium pulvérulent à 50 0/0 peut même être ajouté dans la poche pendant qu'on vide le four, jusqu'à une proportion de 1 0/0 du poids du métal.

L'influence du silicium sur les soufflures donne aux lingots une tête très unie; la solidification est même si rapide que la coulée en est rendue difficile. Comme le métal reste calme sans remonter, la retassure centrale est profonde et très prononcée; un peu de silicomanganèse ajouté pendant la coulée en poche donne des lingots plus sains que ne le fait le ferrosilicium seul.







Creuset pour la fabrication des aciers spéciaux.

Four à creuset oscillant. Système Hammelrath.

1. Creuset. — 2. Fromage. — 3. Réchauffeur des charges. — 4. Grille. — 5. Cendrier. — 6. Boîte à vent. — 7. Foyer. — 8. Regard. — 9. Chenal de coulée. — 10. Tourillon à vent. — 11. Tuyau de vent. — 12. Tourillon de manœuvre.

Aciers au nickel. — Le nickel abaisse les points de transformation du fer, et les confond pour une teneur de 7,65 0/0.

Si	Mn	C	Ni	TEMPÉRATURE DE TRANSFORMATION AU CHAUFFAGE		
				A_3	A_2	A_1
Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100			
0,3	0,8	0,2	0,30	770	700	640
0,2	0,7	0,2	0,95	750	690	620
0,2	0,7	0,2	3,80	640		555
0,2	0,7	0,2	7,65	510		

Les aciers au nickel faiblement carburés sont :

	Pour 100
Irréversibles.....................	0 à 27 de nickel
Réversibles......................	27 à 100 —

Un acier au nickel irréversible qui par chauffage perd son magnétisme à la température T ne reprendra ses propriétés au refroidissement qu'à *t*, température d'autant plus inférieure à T que la teneur en nickel se rapproche de 27 0/0; à ce moment, (T—*t*) atteint 500°, et l'acier n'est plus magnétique aux températures ordinaires. Si la proportion de nickel dépasse 27 0/0, les points de transformation sont voisins au chauffage comme au refroidissement : leur différence est moindre que le dixième de leur valeur absolue. Les phénomènes magnétiques s'étendent également aux températures les plus basses ; le métal à 28 0/0, non magnétique à la température ordinaire, devient magnétique réversible dans la neige carbonique (à — 80°) et irréversible dans l'air liquide (à — 190°).

Le nickel, comme le fer, peut exister à l'état magnétique ou non magnétique. Le fer α seul est magnétique; le fer γ, lorsqu'il se modifie, passe à l'état β et partiellement à l'état α ; un acier non magnétique ne peut donc renfermer de fer α ni de fer β ; le fer γ est donc à l'état γ. De même, le nickel α existant au-dessous de 340° est magnétique ; le nickel β ne l'est pas ; par suite, un acier au nickel non magnétique est donc constitué de fer γ et de nickel β.

Les caractères micrographiques des aciers au nickel les divisent, d'après leur richesse en carbone, en trois catégories dont chacune possède une structure particulière.

CARBONE P. 100	0,12	0,25	0,80	STRUCTURE
Nickel p. 100..	0 à 10	0 à 7	0 à 5	perlite et fer α
	10 à 27	7 à 25	5 à 15	martensite
	plus de 27	plus de 25	plus de 15	fer γ

Les propriétés mécaniques conduisent à une classification semblable et le chiffre 27 0/0 représente, outre un point magnétique, une limite précise pour les propriétés physiques et mécaniques. Les trois classes établies d'après les propriétés mécaniques comprennent :

1° Les aciers qui ont la structure et les propriétés de ceux au carbone ;

2° Les aciers à structure martensitique, semblables aux aciers au carbone trempés;

3° Les aciers à structure polyédrique, qui n'ont aucune ressemblance avec ceux au carbone.

L'influence du nickel est peu sensible jusqu'à 6 0/0, puis elle croît rapidement de 6 à 27 0/0; la limite d'élasticité reste élevée, et l'allongement est bien supérieur à celui d'un acier au carbone qui a la même résistance. Au delà de 27 0/0, la résistance diminue au profit de l'allongement.

Le recuit effectué à 400° produit le même effet que sur les aciers ordinaires : diminution de résistance compensée par un plus grand allongement. Pratiqué à 900°, il n'adoucit que les alliages à moins de 9 0/0 de nickel, et sur ceux qui sont plus riches, l'effet est inverse.

La trempe au-dessus de 750° durcit légèrement les aciers à moins de 27 0/0, et adoucit sensiblement ceux qui sont plus riches en nickel. Le travail à chaud améliore notablement les qualités du métal, en lui conservant la dureté et un grand allongement, mais il doit être pratiqué à une température moindre que celle qui convient aux aciers ordinaires de même dureté. L'écrouissage n'apparaît que sur les métaux à faible limite d'élasticité.

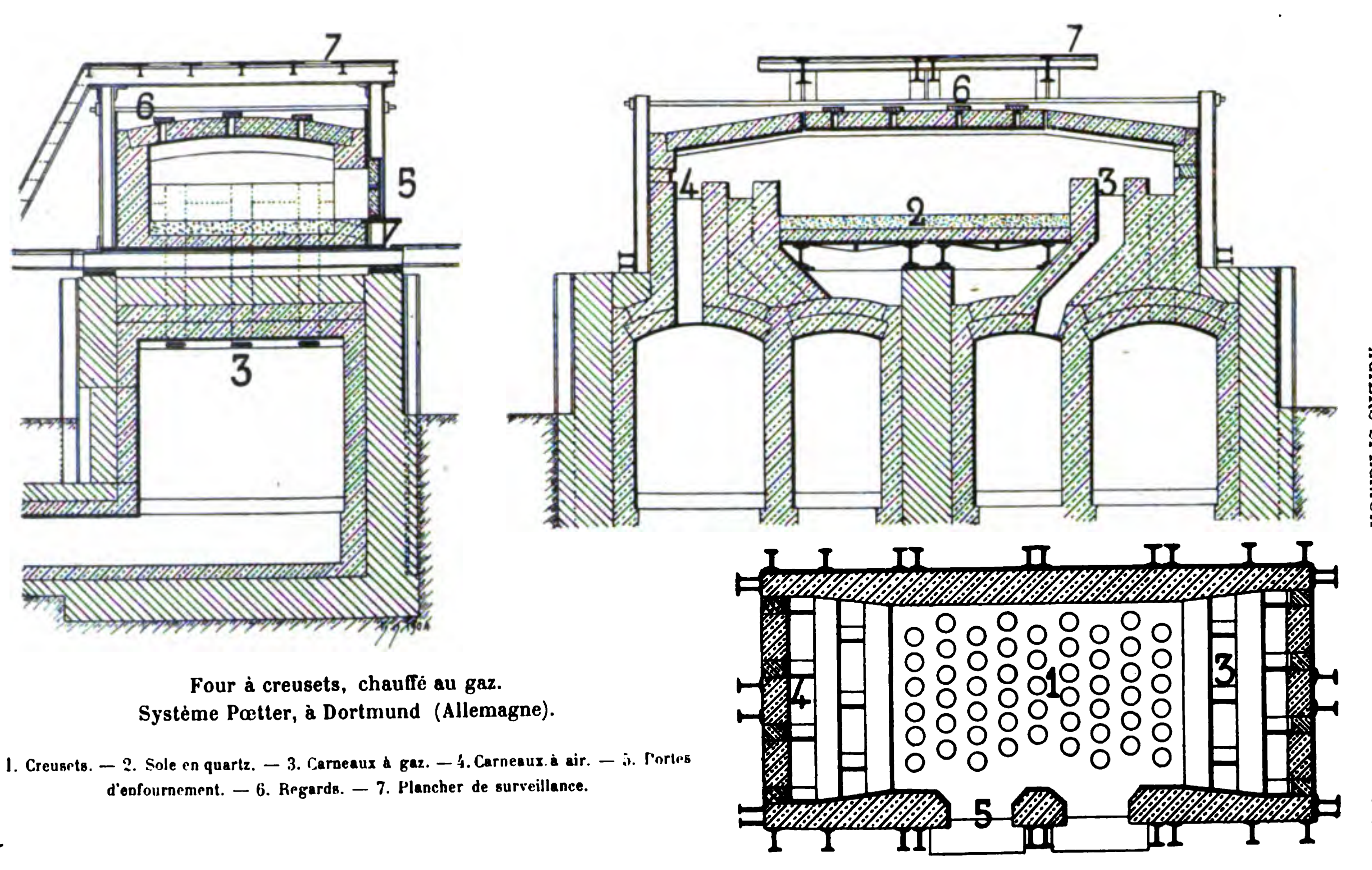
L'influence du chrome, du manganèse ou du carbone sur les transformations irréversibles au refroidissement modifie profondément les propriétés mécaniques, surtout lorsque les points critiques sont au-dessous de la température ordinaire; elle est due

aussi bien aux propriétés respectives des éléments étrangers qu'à leur action sur l'état allotropique du fer. Ainsi, 0,5 0/0 de carbone abaissent les points de transformation de plus de 300° : l'effet du carbone semble 20 fois supérieur à celui de la même quantité de nickel. Le manganèse abaisse les points critiques, pendant le chauffage avec une énergie semblable à celle du nickel, et bien supérieure pendant le refroidissement.

Pour avoir un bon laminage des aciers au nickel carburés, le manganèse est nécessaire ; il n'agit d'ailleurs que si le carbone entre pour moins de 0,6 0/0 ; au delà, il faut recourir à un autre dissolvant du carbone, le chrome. Ce dernier n'a pas une action bien sensible sur les points de transformation ; il agit surtout en présence du carbone, dont il exalte les propriétés.

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES ACIERS AU NICKEL

Si	C	Mn	Ni		LIMITE D'ÉLASTICITÉ par mm²	RÉSISTANCE A LA RUPTURE par mm²	ALLONGEMENT
Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100		Kilogr.	Kilogr.	
»	0,10	»	2,0	sans traitement particulier	29	36	23
»	0,25	»	2,0		30	42	21
0,10	0,15	0,40	6,0		41	58	23
0,10	0,10	0,25	10,0		67	75	20
»	0,15	»	15,0		105	120	7
»	0,10	»	23,0		84	114	15
0,15	0,10	0,60	29,0		34	52	34
0,18	0,20	»	36,0		48	66	28
0,35	0,27	0,60	44,0		50	70	24
0,10	0,10	0,25	10,0	recuit à 400°	70	76	18
»	0,10	»	23,0		75	89	20
0,10	0,15	0,40	6,0	recuit à 900°	39	52	30
»	0,15	»	15,0		75	120	10
0,15	0,10	0,60	29,0	trempé à 800°	19	47	32
0,35	0,27	0,60	44,0		33	60	33
				Chrome Pour 100			
0,15	0,10	0,60	29,0	0,55	33	54	35
0,20	0,60	0,40	27,0	2,50	49	96	25
0,30	0,20	0,25	17,0	1,00	120	147	3
0,25	0,25	0,15	15,0	2,80	75	93	25
0,35	0,50	0,80	16,0	3,00	58	88	45
0,40	0,30	0,45	10,0	2,90	»	97	0
0,35	1,10	0,90	13,0	3,55	85	103	13
0,40	1,75	2,75	7,0	3,20	»	84	0
0,30	1,65	2,00	2,0	0,45	36	42	1



Four à creusets, chauffé au gaz.
Système Pœtter, à Dortmund (Allemagne).

1. Creusets. — 2. Sole en quartz. — 3. Carneaux à gaz. — 4. Carneaux à air. — 5. Portes d'enfournement. — 6. Regards. — 7. Plancher de surveillance.

La fabrication des lingots d'acier au nickel présente peu de difficultés. Le métal peut être obtenu au four Martin sur sole acide ou basique, ou au convertisseur acide, même en présence d'autres métaux, chrome ou tungstène. Au convertisseur basique, la fabrication deviendrait onéreuse par suite de la perte de nickel dans la scorie ; elle serait d'ailleurs peu rationnelle, car le prix élevé des aciers au nickel permet d'y employer des matières de premier choix, sans soufre ni phosphore.

L'opération s'exécute ordinairement au four à sole, et de préférence sur sole acide lorsqu'on désire obtenir un acier contenant du silicium et relativement peu de manganèse. Le nickel, qui est moins oxydable à froid que le fer, le devient bien plus à 1.500°, de sorte que dans un alliage de ferronickel l'action de l'air ou des scories peroxydées se porte sur le nickel, de la même façon que sur le manganèse. Il en résulte une perte importante de nickel dans la scorie, et elle le sera d'autant plus qu'il y aura plus de scorie et que le bain restera soumis davantage aux actions oxydantes.

L'addition de nickel se fait au moment même de la coulée. Quelle que soit la quantité de carbone désirée dans le métal final, on procède toujours par décarburation complète, afin de diminuer l'incertitude de l'opération ; puis, lorsqu'on a obtenu le bain de fer doux, on décrasse complètement avant de faire les additions. Le métal est désoxydé par du ferromanganèse riche, qu'on laisse réagir complètement pour conserver très peu de manganèse. L'atmosphère est dès lors maintenue très réductrice pendant qu'on charge le nickel découpé en fragments portés au rouge ; dès que la fusion est terminée, on coule en poche. La perte dans la scorie est assez faible pour une teneur moindre que 5 0/0, mais elle croît rapidement, surtout lorsque le bain n'a pas été complètement désoxydé.

Lorsqu'on désire des aciers très peu manganésés, on peut désoxyder partiellement de manière à ne pas laisser un excès de manganèse dans le bain, dont on termine le raffinage par du nickel. Dans ce cas, on compose la charge de chutes ou débris d'acier-nickel contenant par eux-mêmes peu de manganèse ; une partie du nickel ainsi chargé subsiste dans le métal, alors que le reste s'oxyde et sature la scorie.

Les aciers au chromonickel s'obtiennent par le même procédé, au moyen d'additions doubles de nickel et de ferrochrome. Dans le bain complètement décarburé et suffisamment chaud pour la coulée, l'atmosphère étant rendue neutre, on ajoute le ferrochrome, aux

dépens duquel le raffinage s'effectue aussitôt ; on charge ensuite le nickel, qui subit de ce fait une perte très faible, et on coule. On prend comme ferrochrome des alliages riches sans carbone ou bien des alliages carburés, selon qu'on désire un métal final plus ou moins carburé. Le chrome est employé dans ces aciers comme véhicule et dissolvant du carbone.

La coulée est semblable à celle des aciers ordinaires. Le métal, très fluide, remplit bien les moules ; il a cependant des tendances à la liquation; les lingots peuvent même criquer au refroidissement, ce qu'on prévient en faisant décrire au jet la surface entière de la lingotière pour y produire des remous.

A ce procédé souvent insuffisant, on préfère l'aluminium ajouté dans la proportion de 0,1 0/0, qui, de plus, diminue les soufflures.

Le travail des aciers au nickel exige des précautions, et ils ne peuvent pas tous être laminés. Ceux qui ont de 4 à 12 0/0 durcissent beaucoup au laminage, leur structure devient schisteuse et composée de lames alternées; ils ne peuvent être soudés. Les alliages à plus de 12 0/0 se forgent facilement entre 850 et 900°, mais ils criquent dès que la température descend au-dessous de 800° ; on doit les travailler par chaudes successives dans des fours munis de pyromètres. Le métal à 20 0/0 de nickel et 1 0/0 de carbone n'est pas laminable; on ne peut le traiter qu'au pilon, par coups répétés, entre 900 et 1.000° ; d'ailleurs, sous l'influence des plus faibles variations de température (courant d'air, contact avec un métal froid), il durcit à la surface et crique.

Le laminage reste la partie la plus difficile de la métallurgie des aciers au nickel.

Aciers au chrome. — Le chrome abaisse les points critiques sans toutefois créer entre eux un écart considérable. Malgré sa faible hystérise, on peut considérer la transformation comme irréversible, parce qu'elle a les caractères principaux de celle des aciers au nickel. Aussi attribue-t-on au chrome seul la variation des points critiques, car le carbone produit un écart sensible entre ces points, et une hystérise intense. Il semble donc que dans les aciers chromés le carbone existe sous un état spécial, modifié par le recuit à haute température avec augmentation de sa solubilité; le travail mécanique le ramène à son état normal en le concentrant sous forme de carbures de chrome et de fer. Le chrome, comme le manganèse, tend à maintenir le carbone combiné. Au contraire, dans les alliages

multiples fer-nickel-chrome, ce dernier agit par l'intermédiaire du carbone.

L'effet du chrome sur les propriétés mécaniques des aciers est de même sens que celui du carbone et du nickel, mais il est moins sensible.

C	Si	Mn	Cr		LIMITE D'ÉLASTICITÉ	RÉSISTANCE À LA RUPTURE	ALLONGEMENT
Pour 100	Pour 100	Pour 100	Pour 100				Pour 100
0,15	0,10	0,20	0,30		33	44	42
0,20	0,15	0,20	1,50		37	60	37
0,40	0,20	0,30	3,20		47	100	21
0,35	»	»	4,90	recuit	28	50	24
0,35	»	»	4,90	trempé	76	87	12
				Ni 0/0			
0,35	0,40	0,60	14,50	0,9	106	120	5
0,60	0,40	0,60	29,00	1,4	41	68	3

La facile oxydation du chrome à 1.500° protège le fer dans ses alliages; l'oxyde formé, presque infusible, se combine à peine aux scories qu'il rend pâteuses et tend à rester dissous dans le métal. Le décrassage, quoique difficile, est indispensable pour assurer un bon chauffage ; un effet semblable se constate sur la scorie lorsqu'une sole en fer chromé est attaquée par le bain et s'y dissout.

Les ferrochromes employés ont une richesse de 50 à 70 0/0. Ceux qui sont carburés se fabriquent au creuset ou au cubilot, en réduisant le minerai de chrome par le carbone en présence du fer. Les alliages peu carburés à 70 0/0, plus recherchés, sont obtenus au four électrique.

Dans la fabrication au creuset de l'acier chromé, on introduit directement dans la charge le ferrochrome avec l'acier; malgré l'atmosphère réductrice, le chrome s'oxyde, et d'autant plus que l'alliage final est moins carburé.

Il est plus économique d'opérer sur sole, acide ou basique ; la seule difficulté résulte de l'oxydabilité du chrome et de la lenteur de séparation des oxydes. Les aciers à haute teneur en chrome sont assez difficiles à réussir, parce qu'à l'addition du ferrochrome une

notable partie du métal est attaquée avant sa diffusion dans le bain, qu'elle recouvre de scorie peu fluide. On ne peut d'ailleurs dans ce cas faire l'addition dans la poche, parce que la fusion serait incomplète, et que le ferrochrome solide provoquerait un refroidissement nuisible au métal. On décarbure donc le bain partiellement jusqu'au point voulu ou mieux totalement, puis on le raffine au ferromanganèse, afin de ne pas perdre de chrome à la saturation de la scorie. Le ferrochrome porté au rouge est chargé en menus fragments quelques minutes avant la coulée; on le brasse au crochet pour hâter sa fusion et le mélanger intimement avant qu'il ait subi une notable oxydation à la flamme.

Sur sole acide, le chrome est plus attaqué que sur sole basique, à cause de l'acidité de la scorie : la perte peut atteindre 70 0/0 du chrome. Elle est moindre avec une scorie saturée d'oxyde de manganèse, et surtout d'oxyde de nickel, mais il reste quand même une grande incertitude sur la composition finale de l'acier.

Sur sole basique, l'oxyde tend moins à se former, car il se combine peu facilement à la scorie; aussi sa séparation est-elle lente ; mais la perte totale ne dépasse pas 25 0/0 avec les alliages riches, et peut même descendre à 8 0/0.

La coulée se pratique comme pour les aciers ordinaires; mais, comme le métal est peu fluide et se solidifie rapidement, il est indispensable, pour obtenir des lingots sains, sans criques ni pailles, de couler à haute température. Le chrome élève d'ailleurs par lui-même le point de fusion du fer.

Les aciers chromés ne sont guère plus sensibles à la chaleur que ceux qui contiennent la même quantité de carbone. L'action prolongée d'une flamme oxydante rend leur structure grossière, avec apparition de cristaux carrés.

La grande dureté du métal rend le travail à chaud plus lent; on opère par chaudes successives à température constante, sensiblement égale à celle que demandent les aciers au carbone de composition analogue. La trempe, faite au rouge sombre, est suivie d'un recuit au rouge naissant et d'un lent refroidissement; elle communique au métal une structure grenue de grande finesse.

Aciers au cobalt, au vanadium, au molybdène, au tungstène, au titane. — Les alliages de ces divers métaux ne peuvent s'obtenir que dans un creuset, en raison de la facile oxydation à haute température des éléments constituants. Leur travail, difficile, ne peut

s'effectuer par laminage : on opère sur de petites pièces, au pilon, par légers coups répétés.

Le *Cobalt* est, après le fer et le nickel, le troisième métal susceptible de magnétisme. Une augmentation progressive de cobalt jusqu'à 30 0/0 élève les points de transformation, en entraînant peu d'hystérise. Les propriétés mécaniques sont analogues à celles qu'apporte le nickel, quoique moindres. Un recuit à 900° produit un fort durcissement, surtout au voisinage de 25 0/0 ; la trempe n'a pas d'effet adoucissant.

Les aciers au *Vanadium* et au *Molybdène* ne sont pas encore entrés dans le domaine de la métallurgie.

Le *Tungstène* fait élever la température des points critiques de quantités variables avec la rapidité et le cycle du chauffage ; plus la température maxima est haute, plus tôt s'opère la transformation au refroidissement. L'irréversibilité apparaît surtout, comme pour le chrome, dans la transformation du carbone, dont le groupement dépend du cycle précédemment parcouru. Une forte proportion de tungstène diminue la perméabilité magnétique de l'acier, augmente l'hystérésis et la force coercitive ; aussi l'acier au tungstène carburé est-il tout spécialement propre à la fabrication des aimants.

C	Tu	FORCE COERCITIVE
Pour 100	Pour 100	
0,0	0,0	1,66
0,20	1,20	3,20
0,30	3,50	5,75
0,40	7,50	9,00
0,75	16,00	14,00

Le tungstène a moins d'influence, à proportion égale, que le silicium, le chrome ou le nickel ; il augmente la résistance et aussi la fragilité. Le travail à chaud ne peut s'effectuer qu'entre des températures très rapprochées qui ne permettent de fabriquer que des formes simples. Au-dessous de 6 0/0, la trempe accroît la dureté ; au delà, elle a moins d'action, mais elle produit toujours des tapures. Dans tous ces alliages, le recuit diminue la résistance et la limite d'élasticité : à 12 0/0, la charge de rupture peut varier du simple

au double, et l'allongement subit des oscillations sensiblement parallèles.

Mn	C	Tu	LIMITE D'ÉLASTICITÉ		CHARGE DE RUPTURE		ALLONGEMENT	
			Non recuit	Recuit	Non recuit	Recuit	Non recuit	Recuit
Pour 100	Pour 100	Pour 100						
0,20	0,12	0,10	31	22	39	34	35	43
0,20	0,15	0,40	37	28	48	39	33	39
0,20	0.20	0,80	45	28	50	41	35	37
0,20	0,20	1,50	»	»	53	44	29	37
0,20	0,30	3,50	48	36	64	53	29	34
0,20	0,50	8,00	70	39	100	65	2	23
0,20	0,75	16,00	»	42	»	90	»	3

Le tungstène élève le point de fusion de l'acier, car il est très peu fusible : on l'obtient même difficilement à la température de ramollissement des creusets.

On fabrique l'acier au tungstène en fondant du fer très doux avec du ferrotungstène ; comme ce dernier est toujours carburé, on doit employer des matières premières exemptes de carbone. Les ferrotungstènes industriels renferment de 25 à 80 0/0 de tungstène ; les produits pauvres sont souvent associés avec le manganèse, qui augmente encore leur carburation.

FERROTUNGSTÈNES

Si	Mn	C	Tu
0,50	42,00	5,20	24,50
0,40	2,00	1,70	26,00
0,75	1,50	2,90	79,50

On les fabrique dans des creusets de graphite par la réduction de la *wolfranite* ($FeTuO^4$) au moyen du carbone, en présence de fondants siliceux.

Le *Titane* en très faible proportion augmente la résistance et la fragilité. Un acier renfermant :

	Pour 100
C	0,12
Mn	0,35
Ti	0,40

se rompt sous une charge de 60 kilogrammes, alors que celui qui a même teneur en carbone et manganèse ne dépasse pas 45 kilogrammes. On emploie le titane soit pour durcir le métal, soit comme succédané de l'aluminium, à cause de sa vive affinité pour l'oxygène à 1.500°. Dans le premier cas, on le charge au creuset ; dans le second, on peut le mettre dans la poche, comme l'aluminium ; mais, comme il est ordinairement pulvérulent, il ne se mélange intimement à l'acier que s'il a été enfermé dans un tube de fer mince, u'on jette dans le bain au moment de percer le bouchage du trou de coulée.

FERROTITANES

Si	CARBONE		Ti
	TOTAL	GRAPHITE	
0,50	6,15	6,05	12,0
0,60	7,00	6,8	18,0
»	0,40	»	75,0

Les ferrotitanes pauvres s'obtiennent au creuset par chargement, dans un bain d'acier fondu, d'un mélange intime de charbon de bois et de minerai titané ; le minerai titanafère contient jusqu'à 50 0/0 de titane. On ne peut pas le réduire au haut-fourneau, parce que le titane passe presque entièrement dans le laitier.

Les ferrotitanes riches sont fabriqués au four électrique par un traitement en deux phases. Tout d'abord, le minerai de fer titané est fondu à 1.800°, avec de la chaux et la quantité de carbone strictement nécessaire à la réduction du fer. La scorie contient la majeure partie du titane, sous forme de titanate de chaux, et très

peu de fer. Elle est chargée au four électrique avec de l'aluminium et du fer pur, en quantité qui correspond à la teneur finale désirée ; la réduction est faite par l'aluminium, dont l'excès se mélange dans la scorie, et peut être repris pour un nouvel emploi. Ce procédé est plus coûteux que le procédé direct au creuset, mais il donne dans toutes les proportions des alliages presque complètement exempts de carbone [1].

[1] Pour l'étude approfondie des aciers spéciaux, nous recommandons particulièrement le remarquable ouvrage que sur cette question vient de faire paraître récemment M. L. Guillet, ingénieur des Arts et Manufactures.

CHAPITRE XXI

PERSONNEL. — COMPTABILITÉ

PERSONNEL OUVRIER

Postes. — Les diverses phases de la fabrication amènent la même division dans le personnel qui y est affecté. La nécessité d'une grande production, et des travaux pénibles qui demandent souvent plus de vigueur que d'habileté, ont fait remplacer une grande partie de la main-d'œuvre par des appareils mécaniques perfectionnés. Si le nombre des ouvriers s'en trouve diminué, leur choix s'impose parmi les plus expérimentés.

Quel que soit le mode de fabrication, le personnel est réparti en quatre équipes auxquelles sont attribués les travaux suivants :

1° Chargement et conduite des fours ;

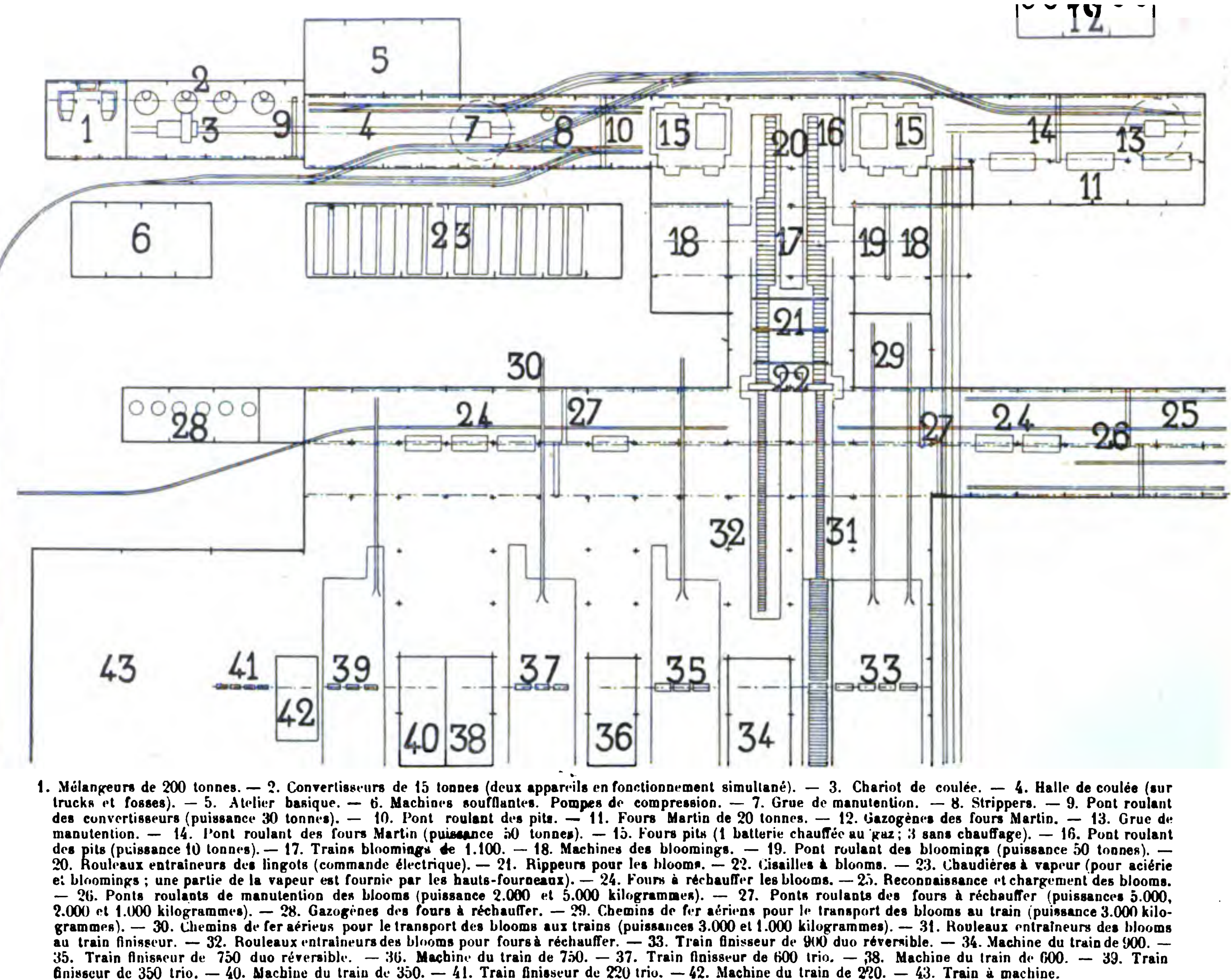
2° Préparation des lingotières et manutention des lingots ;

3° Coulée en lingotières. — Conduite des appareils de coulée;

4° Maçons chargés de l'entretien des fours et des poches.

Chacun de ces chantiers a une importance qui varie avec le genre de travail et la perfection de l'installation ; ainsi l'équipe du chargement des fours, réduite au minimum dans la conversion acide, est très nombreuse dans les fours Martin qui refondent de menus riblons et se chargent à bras. Au contraire, il faut assez peu de maçons dans les aciéries Martin pour qu'ils n'y soient pas spécialement attachés, tandis qu'ils forment le groupe principal auprès des appareils de conversion.

La durée du travail effectif est de douze heures ; il faut donc pour un fonctionnement continu, dans la plupart des emplois, deux postes qui se relaient le plus souvent à six heures, ou plus rarement à midi et minuit. Seuls quelques travaux particuliers, maçonnerie de poches



1. Mélangeurs de 200 tonnes. — 2. Convertisseurs de 15 tonnes (deux appareils en fonctionnement simultané). — 3. Chariot de coulée. — 4. Halle de coulée (sur trucks et fosses). — 5. Atelier basique. — 6. Machines soufflantes. Pompes de compression. — 7. Grue de manutention. — 8. Strippers. — 9. Pont roulant des convertisseurs (puissance 30 tonnes). — 10. Pont roulant des pits. — 11. Fours Martin de 20 tonnes. — 12. Gazogènes des fours Martin. — 13. Grue de manutention. — 14. Pont roulant des fours Martin (puissance 50 tonnes). — 15. Fours pits (1 batterie chauffée au gaz ; 3 sans chauffage). — 16. Pont roulant des pits (puissance 10 tonnes). — 17. Trains bloomings de 1.100. — 18. Machines des bloomings. — 19. Pont roulant des bloomings (puissance 50 tonnes). — 20. Rouleaux entraineurs des lingots (commande électrique). — 21. Rippeurs pour les blooms. — 22. Cisailles à blooms. — 23. Chaudières à vapeur (pour aciérie et bloomings ; une partie de la vapeur est fournie par les hauts-fourneaux). — 24. Fours à réchauffer les blooms. — 25. Reconnaissance et chargement des blooms. — 26. Ponts roulants de manutention des blooms (puissance 2.000 et 5.000 kilogrammes). — 27. Ponts roulants des fours à réchauffer (puissances 5.000, 2.000 et 1.000 kilogrammes). — 28. Gazogènes des fours à réchauffer. — 29. Chemins de fer aériens pour le transport des blooms au train (puissance 3.000 kilogrammes). — 30. Chemins de fer aériens pour le transport des blooms aux trains (puissances 3.000 et 1.000 kilogrammes). — 31. Rouleaux entraîneurs des blooms au train finisseur. — 32. Rouleaux entraîneurs des blooms pour fours à réchauffer. — 33. Train finisseur de 900 duo réversible. — 34. Machine du train de 900. — 35. Train finisseur de 750 duo réversible. — 36. Machine du train de 750. — 37. Train finisseur de 600 trio. — 38. Machine du train de 600. — 39. Train finisseur de 350 trio. — 40. Machine du train de 350. — 41. Train finisseur de 220 trio. — 42. Machine du train de 220. — 43. Train à machine.

à acier, fabrication de fonds de convertisseurs, ou besognes de manœuvres, peuvent n'être faits que de jour. Les convertisseurs ne travaillent pas plus de une ou deux semaines sans arrêt, car l'entretien du matériel mécanique exige des visites assez fréquentes ; il n'est donc pas nécessaire que l'un des postes reste vingt-quatre heures consécutives pour intervertir les périodes de repos : si les arrêts ont lieu par quinzaine, chaque poste conserve pendant ce temps les mêmes heures de travail.

Au contraire, les aciéries à fusion sur sole sont en activité un mois au moins sans arrêt qui dépasse douze heures. Afin d'alterner le travail de jour et le travail de nuit toujours plus fatigant, on fait l'interversion en gardant un poste dix-huit ou vingt-quatre heures. Ce changement a lieu d'ordinaire un dimanche ou un jour férié, dont chacun des postes profite alternativement. Une assiduité de vingt-quatre heures est accablante, surtout par les fortes chaleurs; aussi est-il prudent, pour éviter les indispositions aussi bien que les risques de blessures, d'augmenter l'effectif du personnel pour cette journée : on prend précisément quelques hommes de l'autre poste, qui, pour un supplément de salaire, préfèrent diminuer leurs loisirs réguliers.

Composition des diverses équipes. — 1° Chargement et conduite des fours. — I. *Conversion.* — Transport de la fonte liquide des hauts-fourneaux aux convertisseurs :

1 machiniste;

1 basculeur, faisant les diverses manœuvres d'aiguillage.

Fusion de la fonte au cubilot : par cubilot :

1 fondeur (et 1 aide si la production dépasse 5 tonnes par heure) ;

1 chargeur en premier, secondé par des manœuvres en nombre variable selon la production. Un homme peut charger au moins 4 tonnes de fonte à l'heure;

Des manœuvres pour le transport de la fonte sur le plancher de chargement.

Mélangeur :

1 machiniste et 1 basculeur, amenant la fonte des hauts-fourneaux au mélangeur;

1 ou 2 hommes pour la poche à fonte circulant entre le mélangeur et les convertisseurs.

Pour la manœuvre du mélangeur :

1 machiniste, 1 décrasseur.

Conduite des convertisseurs :

Chaque convertisseur en service a :

2 hommes assurant le chargement de la fonte liquide (et éventuellement des additions solides avant soufflage), le chargement des additions, le décrassage et le nettoyage des convertisseurs, les réparations en marche au fond ou aux parois ;

1 à 3 hommes pour charger la chaux (procédé Thomas) et aidant les précédents ;

1 homme pour le pesage et le chauffage des additions solides ;

1 fondeur et 1 chargeur pour la conduite du cubilot à spiegel ;

Des manœuvres transportant les chutes, le spiegel, etc., à pied d'œuvre ;

1 à 3 hommes pour préparer et manœuvrer les cuves de décrassage, faire évacuer la scorie, nettoyer les voies ;

1 ou 2 machinistes, au banc de manœuvre, selon qu'opère un seul convertisseur ou deux simultanément ;

2 machinistes à la machine soufflante ;

1 machiniste aux pompes de compression ;

1 forgeron, 1 frappeur pour la confection des éprouvettes et les réparations courantes ;

1 contremaître conduisant l'opération et exerçant sa surveillance sur l'ensemble.

II. *Fusion sur sole.* — Préparation de la charge :

Des manœuvres chargeant les caisses ou les wagonnets qu'ils amènent sur la plateforme des fours. Un homme de bonne force peut charger en douze heures de 15 à 30 tonnes de métal, selon le poids des fragments.

Chargement du four :

Des manœuvres s'il est fait à bras, en nombre suffisant pour qu'il soit rapide. Les fondeurs les aident dans ce travail. En une heure, 3 hommes (dont 1 à la pelle et 2 pour approvisionner) chargent 8 à 10 tonnes de métal en fragments de 30 kilogrammes au moins. — Dans le même temps, 3 hommes chargent à la main 5 tonnes de fragments de 5 kilogrammes.

Conduite du four :

1 premier fondeur et un aide-fondeur. Ils coopèrent au chargement, surveillent l'affinage, effectuent les inversions du chauffage au gaz, font le décrassage et réparent le four dans l'intervalle des opérations. Ils sont tous deux capables de conduire une opération ordinaire ; le premier fondeur remplace le contremaître. Pour le chargement à la

machine, on leur adjoint : 1 machiniste, et 1 ou 2 manœuvres pour enlever les wagonnets vides;

1 gamin pour lever les portes;

1 ou plusieurs gaziers, qui chargent et conduisent les gazogènes;

1 homme qui approvisionne de houille les gazogènes;

1 décrasseur qui enlève les cendres de grilles et les crasses;

1 contremaître qui dirige les opérations et surveille le tout.

2° Préparation des lingotières. — Manutention des lingots.

Démoulage. — Le nombre d'ouvriers varie avec les dimensions des lingots et les appareils de manœuvre; 3 hommes et 1 machiniste peuvent, en une heure, préparer les lingotières, démouler et charger 25 lingots de 1.200 à 2.000 kilogrammes ou bien 35 lingots de 300 kilogrammes.

Le car-casting demande :

1 machiniste au stripper;

1 machiniste au pont roulant qui transporte les lingots aux pits;

1 ou 2 hommes pour démouler, et préparer les lingotières;

1 machiniste à la locomotive de manœuvre.

Dans la confection des sources, 3 hommes en une heure préparent les plaques de coulée (briquetage et pose) de 50 lingotières.

Pesage :

1 basculeur pèse les wagons pleins et vides; il prend note des entrées et des sorties des lingotières.

Transport :

1 machiniste, ou un charretier, selon les cas.

Classement des lingots sur parcs :

3 hommes manœuvrent avec une grue à main des lingots de 300 à 1.000 kilogrammes; ils classent et marquent à la peinture de 30 à 50 lingots à l'heure. Pour des poids supérieurs à 1.000 kilogrammes, la même équipe emploie un appareil à puissance mécanique.

3° Coulée en lingotières.

1 couleur fait en dix minutes une coulée de 10 à 20 tonnes, produisant de 6 à 10 lingots de 1.000 à 2.000 kilogrammes ou bien 25 à 35 lingots de 300 à 600 kilogrammes. Il faut moins de quatre minutes pour marquer, sur 10 lingotières, le niveau qu'y doit atteindre le métal.

La poche est manœuvrée, pour les chariots à bras, par des hommes occupés normalement à d'autres postes (les chargeurs, dans les aciéries Martin); pour les chariots à puissance mécanique, ce sont des machinistes et les aides-pocheurs.

Il faut quinze minutes à 3 hommes pour décrasser la poche, pré-

parer la quenouille et la busette. Ce travail est fait par le couleur et des aides si les opérations sont espacées de plus de 40 minutes, ou dans le cas contraire par une équipe spéciale.

4° Maçons. — 1. *Conversion.*

Confection des fonds :

3 hommes pour préparer les matières et 3 hommes pour construire le fond peuvent donner 2 fonds en 12 heures de travail. Cette équipe travaille d'ordinaire pendant le jour seulement.

Pose des fonds :

5 hommes pour la préparation et la cuisson des fonds, la démolition d'un fond hors de service et la pose d'un neuf. Comme la mise hors de service peut avoir lieu à des instants variables, l'équipe des poseurs de fonds est complète pour chaque poste ; un fond l'occupe pendant huit heures seulement, et, dans ses moments d'inactivité, elle est employée à des travaux ou nettoyages divers.

Réparation des garnissages :

Le garnissage latéral acide, durant très longtemps, n'a pas d'équipe spéciale. Il est entretenu par les poseurs de fonds, et les grosses réparations sont faites pendant les arrêts.

Les garnissages basiques ont une durée beaucoup moindre. Il faut par poste une équipe complète qui prépare les matériaux, confectionne les briques, maçonne et entretient les convertisseurs :

10 hommes par poste (poseurs de fonds non compris) suffisent pour 40 coulées par vingt-quatre heures avec des convertisseurs de 10 à 15 tonnes. Pour des coulées moins fréquentes, une seule équipe de maçons est nécessaire, à condition qu'elle puisse être augmentée lors de la réfection d'un garnissage. Pendant les moments de répit, on emploie ces ouvriers à des travaux divers. Chaque équipe comprend : 1 premier maçon, 1 second maçon (capable de remplacer le premier) et des aides. Les appareils de préparation des matériaux réfractaires sont occupés dans la journée à la confection des fonds, et c'est la nuit qu'on prépare les mortiers pour le garnissage latéral.

Frittage de la dolomie :

2 hommes par poste pour conduire le cubilot à dolomie ;

Des manœuvres pour l'approvisionnement en pierre et en coke (travail de jour seulement).

Goudron :

1 chauffeur pour la vidange des citernes, le réchauffage du goudron, ou éventuellement sa distillation.

Réparation des poches à fonte et à acier :

2 maçons et 2 aides réparent les poches pour 40 coulées par vingt-quatre heures, en travaillant seulement le jour.

Quenouilles :

1 homme et 1 aide confectionnent 40 quenouilles en douze heures, et assurent les réparations courantes des tiges de quenouilles.

II. *Fusion sur sole.*

Réparation des fours :

Ces réparations durent plusieurs jours ; mais, comme elles sont espacées, il n'y a lieu d'avoir une équipe spéciale de maçons que si le nombre des fours dépasse dix, car alors il y a toujours un four en construction. Les réparations passagères, sans mise hors feu, sont faites par la même équipe qui ne comprend d'ordinaire que des maçons proprement dits ; pour la démolition ou la réparation d'un four, les manœuvres sont remplacés par les ouvriers attachés au service de ce four, à moins que son équipe ne soit déjà au service d'un nouveau four mis en feu dès l'arrêt du premier. Lorsqu'on n'a que quelques fours, les réparations sont faites par des maçons empruntés à un autre service.

Poches, quenouilles :

Le premier couleur attaché au four répare lui-même la poche après chaque coulée, pose la busette et la quenouille avec l'aide d'un ouvrier du chantier. Il est également chargé de la confection du chenal et des quenouilles.

Les approvisionnements divers sont assurés, pendant le jour de préférence, par une équipe spéciale proportionnée à l'importance du travail.

Le forgeage des éprouvettes de coulée et les réparations d'outillage sont dans les attributions d'un forgeron et d'un frappeur. Ces mêmes ouvriers, dans les aciéries à conversion, aplatissent au pilon les prises faites pendant l'affinage. Dans les aciéries sur sole, la lenteur des opérations laisse aux fondeurs le temps de forger les éprouvettes d'affinage.

Les usines à conversion produisant plus de 15 coulées par poste doivent être surveillées, outre l'opérateur, par un chef de fabrication qui vérifie l'exécution des commandes de lingots, assure les approvisionnements journaliers, et à l'occasion remplace l'opérateur. Cet emploi n'est pas nécessaire dans les aciéries sur sole ayant moins de quatre fours : le contremaître-opérateur dispose, entre les coulées, d'un temps suffisant pour exercer une surveillance complète sur tout le personnel.

La comptabilité ouvrière et la comptabilité technique sont gérées par un comptable attaché au bureau particulier de l'aciérie, où se centralisent les ordres reçus ou transmis, sous la direction d'un chef de service.

COMPTABILITÉ TECHNIQUE

Roulements et rapports. — La comptabilité technique d'une aciérie s'établit avec exactitude grâce à la complète indépendance des opérations successives. Les consommations sont de deux sortes : d'une part, les produits métalliques ou minéraux qui constituent la charge, distincts pour chaque opération, et donnant un rendement propre ; de l'autre, les produits réfractaires, les lingotières, l'énergie mécanique, dont la dépense ne peut être évaluée pour une opération, mais qu'on répartit proportionnellement. On ne saurait, par exemple, estimer exactement dans une opération Martin la quantité de houille consommée, qui dépend de l'état des grilles au commencement et à la fin du travail ; deux coulées successives donnent des résultats différents dont la demi-somme se rapproche de la moyenne habituelle. A plus forte raison ne peut-on pas calculer la vapeur dépensée pour le soufflage d'un convertisseur : on établit sur ces points des moyennes journalières, hebdomadaires ou même mensuelles.

Les quantités de matières produites qui permettent des évaluations exactes sont portées sur un registre à chaque opération ; on y ajoute les renseignements techniques ou commerciaux qui peuvent avoir une utilité ultérieure. Le résumé succinct des opérations successives ainsi établi constitue le *roulement de l'aciérie.*

Le roulement comprend donc trois parties : 1° consommations ; 2° productions ; 3° renseignements techniques et commerciaux. On peut d'ailleurs subdiviser les deux premières selon les distinctions à établir. Ainsi, on sépare dans les consommations celles qui sont destinées aux aciers doux, qu'on désoxyde par des alliages manganésés riches et solides, de celles où la recarburation des aciers durs est assurée par du spiegel liquide. De même, on distinguera dans les productions les lingots de gros poids pour train blooming de ceux de poids moyens pour lesquels la dépense en lingotières et le déchet sous forme de scraps sont plus importants.

Dans les aciéries de conversion, on totalise les opérations par

poste et par journée, et les moyennes sont tirées des totaux obtenus. La comparaison du travail des deux postes permet de juger de la valeur de l'opérateur, et de répartir les salaires proportionnellement aux résultats.

Chaque four d'aciérie à fusion sur sole possède un roulement particulier, qui montre les différences d'allure selon les modifications apportées par l'usure ou par des perfectionnements. Les opérations ne se terminant pas exactement à la fin de la journée, on établit les moyennes de dix en dix jours. Cependant, pour être complètement renseigné, on établit journellement un résumé de la consommation et de la production de tous les fours d'une même batterie.

Les tableaux qui suivent sont des exemples de cette comptabilité.

Journée du.......... ACIÉRIE THOMAS MÉLANGEUR

RÉCEPTIONS							LIVRAISONS		
HAUT-FOURNEAU N°				CUBILOT N°		Heure	Heure	Numéro de la coulée	Poids
1	2	3	4	I	II				
16.500	»	»	»	»	»	6h 05	6h 10	12.512	15.800
»	»	»	»	»	12.200	6 25	6 40	513	15.600
»	»	16.900	»	»	(Mis hors feu)	6 55	7 20	514	15.800
»	»	»	15.800	»	»	7 30	7 50	515	15.200
....	....	....	....	....	......	....	....	......	....
»	»	16.800	»	»	»	3 10	4 00	12.530	15.700
»	»	»	11.700	4.200	»	3 50	4 30	531	15.000
16.000	»	»	»	»	»	4 20	5 10	532	15.000
»	»	»	16.300	»	»	5 00	»	»	»
»	»	12.000	»	4.200	»	5 50	»	»	»
16.300	»	»	»	»	»	6 15	6 10	533	14.900
»	»	16.500	»	»	»	6 50	6 30	534	15.600
....	....	....	....	....	......	....	....	......	....
»	»	»	12.000	4.800	»	4 50	4 40	12.550	14.900
15.900	»	»	»	»	»	5 30	5 20	551	15.000
182.900	»	175.000	170.600	71.400	12.200	Total de la journée		40	612.100
528.500				83.600					
1.720.200	»	1.712.400	1.745.600	269.500	580.800	Report		391	6.018.300
1.903.100	»	1.887.400	1.916.200	340.900	593.000	Total		431	6.630.400
5.806.700				933.900		Stock au			110.200
6.740.600									

Journée du................. ACIÉRIE

NUMÉRO des COULÉES	HEURE DE LA LEVÉE	FONTE DU MÉLANGEUR		FONTE FROIDE BOCCAGES, SCRAPS		CHUTES DE LAMINOIRS	
		Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur
12.512	6 20	15.800	»	300	»	»	»
513	6 30	15.600	»	300	»	»	»
514	7 30	15.800	»	300	»	»	»
515	8 00	»	15.200	»	»	»	»
516	8 30	»	15.100	»	»	»	200
....	....	....	....	....	....	....	....
530	4 10	»	15.100	»	»	»	300
531	4 40	»	15.000	»	»	»	300
532	5 20	»	15.000	»	»	»	300
Opérat^r^ M. X....		321.300					
12.533	6 15	»	14.900	»	100	»	300
534	6 45	15.500	»	400	»	»	»
....	....	....	....	....	....	....	....
550	4 30	»	14.900	»	200	»	200
551	5 25	»	15.000	»	200	»	200
Opérat^r^ M. Y....		290.800					
Total de la journée		111.800	500.300	2.400	3.600	»	10.100
REPORT......		3.408.300	2.610.000	72.500	38.200	85.600	71.500
TOTAL.......		3.520.100	3.110.300	74.900	41.800	85.600	81.600
		6.630.400		116.700		167.200	

THOMAS I. CONSOMMATION

CHAUX		FERROMANGANÈSE		FERROSILICIUM		SPIEGELEISEN		TOTAL	
Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur
2.400	»	95	»	20	»	»	»	16.215	»
2.400	»	95	»	20	»	»	»	16.015	»
2.400	»	95	»	20	»	»	»	16.215	»
»	2.200	»	30	»	30	»	1.230	»	16.490
»	2.200	»	30	»	30	»	1.230	»	16.590
......	......	......	......	......	......	......	......	......	......
»	2.100	»	20	»	40	»	1.220	»	16.680
»	2.100	»	20	»	40	»	1.220	»	16.580
»	2.100	»	20	»	40	»	1.200	»	16.560
»	2.300	»	30	»	40	»	1.200	»	16.570
2.400	»	90	»	»	»	50	»	16.140	»
......	......	......	......	......	......	......	......	......	......
»	2.300	»	20	»	40	»	1.220	»	16.180
»	2.300	»	20	»	40	»	1.220	»	16.680
16.000	72.200	650	820	80	1.230	150	37.840	114.080	553.890
518.400	415.900	17.450	3.960	1.840	6.320	2.800	218.620	3.589 370	2.948.600
535.000	488.100	18.100	4.780	1.920	7.550	2.950	256.460	3.703.450	3.502.490
1.023.100		22.880		9.470		259.410		7.205.940	

Journée du.................

ACIÉRIE

BONS LINGOTS POUR				BOUTS DE LINGOTS		SCRAPS		TOTAL	
BLOOMING		TRAINS ET TOLERIE							
Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur	Ac. doux	Ac. dur
13.200	»	950	»	150	»	»	»	14.300	»
13.180	»	820	»	»	»	150	»	14.150	»
13.260	»	990	»	100	»	»	»	14.350	»
»	14.800	»	»	»	»	»	»	»	14.800
»	14.850	..	»	»	»	»	100	»	14.950
....	....	....	.....	......	......	.....	......	....	....
»	14.820	»	280	»	»	»	»	»	15.100
»	14.880	»	»	»	»	»	120	»	15.000
»	14.850	»	»	»	200	»	»	»	15.050
298.740									
»	14.900	»	»	»	100	»	»	»	15.000
13.240	»	1.000	»	80	»	»	»	14.320	»
....	....	....	.....	......	......	.....	......	....	....
»	12.400	»	»	»	2.450	»	100	»	14.950
»	14.860	»	»	»	»	»	80	»	14.980
268.870									
92.320	475.290	6 080	820	550	9.320	250	2.830	100.100	488.260
2.968.540	2.533.410	167.130	4.950	15.250	38.650	7.200	13.720	3.158.020	2.590.730
3.060.860	3.008.700	173.210	5.770	15.800	47.970	7.450	16.550	3.258.120	3.078.990
6.069.560		178.980		63.770		24.000		6.337.110	

THOMAS

II. PRODUCTION

NUMÉRO des COULÉES	R par 1. mm²	A 0/0 sur 100 mm.	Mn	Ph	C	Si	DESTINATION
12.512	41,2	29	0,44	0,070	0,11	»	Commande n° 2934.
513	40,8	30	0,41	0,065	0,09	»	id.
514	42,0	27,5	0,48	0,075	0,12	»	id.
515	68,5	14	0,92	0,080	0,32	0,04	Rails E. 40 kilogr.
516	70,2	12,5	0,95	0,085	0,32	»	id.
....	......	......	......	......	......	......	....
12.530	69,0	13,0	0,88	0,075	0,34	»	id.
531	66,8	15,5	0,82	0,070	0,31	»	id.
532	67,5	14,0	0,85	0,080	0,31	»	id.
12.533	72,5	9,5	0,98	0,085	0,34	0,06	Rails E. 40 kilogr.
534	43,2	25	0,49	0,080	0,13	»	Commande nᵒˢ 2952 et 2958.
....	......	......	......	......	......	......	....
12.550	73,0	11	1.00	0,095	0,36	»	Rails E. 40 kilogr.
551	72,4	11,5	0,98	0,090	0,35	»	id.

Total de la journée	**OBSERVATIONS**
Report	Coulée 12.518 — 2 lingots criqués.
Total	

Mois de..................

ACIÉRIE MAR

NUMÉRO des COULÉES	FONTES			ACIER		CHUTES D'ACIER		
	N° 1	N° 2	BOCCAGES	BOCCAGES	LINGOTS	RAILS	PROFILÉS	TOLES
REPORT du 1er au 10	71.200	35.500	14.800	19.200	11.100	59.800	99.100	99.300
734	4.500	»	»	800	400	5.400	»	3.800
735	1.500	1.500	1.800	600	400	6.000	1.500	2.700
736	»	1.800	3.200	900	300	6.200	3.200	3.000
737	3.000	1.500	»	1.200	»	5.800	4.100	»
738	4.500	»	»	400	800	4.000	7.000	»
....	......	......	......	......	......	......	......	......
....	......	......	......	......	......	......	......	......
749	3.000	1.500	»	500	700	»	9.200	3.100
TOTAL du 11 au 20	74.500	33.200	13.700	17.400	9.300	79.500	90.600	93.100
MOYENNE du 11 au 20	2.975	1.330	550	695	370	3.170	3.625	3.715
TOTAL du 1er au 20	145.700	68.700	28.500	36.600	20.400	139.300	189.700	192.400

TIN. FOUR N° 2

I. CONSOMMATION

RIBLONS		FONTE HÉMATITE		SPIEGEL	FERRO-	FERRO-	ALUMINIUM	TOTAL
N° 1	N° 2	M	N	12 0/0	MANGANÈSE	SILICIUM		
57.700	37.000	7.900	4.300	3.900	4.050	1.760	17	531.927
3.200	1.900	400	»	50	115	50	1	20.616
2.000	2.000	300	150	»	125	50	1	20.626
»	1.400	400	50	»	120	50	1	20.621
3.000	1.400	450	»	100	110	50	1	20.711
»	3.300	400	50	50	115	50	1	20.666
....	....	....	....	....	....	....	......	....
....	....	....	....	....	....	....	......	....
»	2.000	300	250	250	145	80	»	21.025
41.800	46.900	8.800	3.100	4.400	3.160	1.640	20	521.120
1.665	1.870	350	125	175	130	65	1	20.811
99.500	83.900	16.700	7.400	8.300	7.210	3.400	37	1.054.047

Mois de.................

ACIÉRIE MAR

NUMÉRO des COULÉES	BONS LINGOTS		BOUTS de LINGOTS	SCRAPS	TOTAL	MOMENT DE LA COULÉE		ARRÊT après OPÉRATION
	BLOOMING	TRAINS et TOLERIE				JOUR	HEURE	
REPORT du 1er au 10	279 550	205.100	7.150	1.900	493.700	»	231 20	7h05
734	12.000	6.950	200	100	19.250	11	7 20m	»
735	19.050	»	150	»	19.200	11	4 45s	»
736	11.900	7.380	»	»	19.280	11	2 10m	»
737	19.050	»	250	»	19.300	12	10 40m	1 20
738	12.100	6.800	»	250	19.150	12	9 30s	»
....	....	....	....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....	....	....	....
749	12.050	7.250	100	»	19.400	20	4 45m	»
TOTAL du 11 au 20	361.200	117.150	3.750	1.100	483.200	»	234 10	3 15
MOYENNE du 11 au 20	14.450	4.680	150	40	19.320	»	9 25	0 08
TOTAL du 1er au 20	640.750	322.250	10.900	3.000	976.900	»	465 30	10 20

TIN. FOUR N° 2

II. PRODUCTION

CONTREMAITRE OPÉRATEUR	CONSOMMATION — HOUILLE — Gazogènes	Divers	CASTINE	MINERAI	MISE AU MILLE — MÉTAL — Brute	Nette	HOUILLE — Gazogènes	Totale
»	133.900	9.800	27.100	11.500	1.073	1.084	274	296
M. X....	5.200	300	1.000	450	1.070	1.087	275	290
X....	5.400	300	1.150	250	1.074	1.083	283	298
Y....	4.900	300	1.050	700	1.069	1.069	254	269
X....	5.300	350	1.000	300	1.073	1.087	278	297
Y....	5.900	300	1.050	500	1.078	1.090	312	326
....	....	....	....	....	....	....	.....	.....
....	....	....	....	....	....	....	.....	.....
X....	5.400	400	1.100	800	1.060	1.067	278	303
»	135.200	8.500	26.250	10.700	»	»	»	»
»	5.410	340	1.050	450	1.071	1.079	282	299
»	269.100	18.300	53.350	22.200	1.072	1.082	278	297

Prix de revient. — Les prix de revient sont établis mensuellement d'après les indications du roulement, complétées par les inventaires et les renseignements techniques de la fabrication. Outre les matières premières dont les consommations sont portées au roulement, il y a de nombreuses fournitures dont la répartition ne peut être faite exactement : les dépenses en sont imputées uniformément sur chaque tonne de produits finis. Telles sont, dans les aciéries à conversion, les matières réfractaires (garnissage des convertisseurs et des poches), la vapeur et l'eau sous pression, et dans les aciéries sur sole, les frais de réparation des fours et l'entretien général.

On obtient une plus grande précision, dans l'estimation d'un prix de revient, en attribuant à chaque genre de produits les dépenses qui lui sont propres. Ainsi, on aura des comptes particuliers pour l'acier dur à rails, plus coûteux par suite de l'addition de spiegel, ainsi que pour les lingots de tôlerie, qui exigent par tonne un poids de lingotières supérieur à celui qu'il faut aux lingots carrés de blooming.

Pour obtenir des résultats comparatifs, il est nécessaire de prendre le métal à divers points de sa fabrication, et de considérer chacun d'eux comme la matière première de la phase suivante. C'est ainsi qu'ont été établis les exemples suivants :

I. — FONTE THOMAS REFONDUE AU CUBILOT

		Francs.
Fonte Thomas (du haut-fourneau) : 1.040 kilogrammes à 55 francs les 1.000 kilogrammes		57,20
Cassage et manutention : 1.040 kilogr. à 0 fr. 45 les 1.000 kilogr.		0,47
Coke : 94 kilogr. à 26 fr. les 1.000 kilogr.		2,24
Castine : 6 kilogr. à 2 fr. 07 les 1.000 kilogr.		0,02
Terre réfractaire, sables : 10 kilogr. à 10 fr. les 1.000 kilogr.		0,10
Provisions diverses		0,22
Main-d'œuvre		0,82
Ventilateur :		
Vapeur	0,28	0,31
Entretien	0,03	
Monte-charges		0,08
Réparations du garnissage :		
Briques : 12 kilogr. à 40 fr. les 1.000 kilogr.	0,48	0,62
Terre réfractaire : 2 kilogr. à 12 fr.	0,02	
Main-d'œuvre	0,08	
Grosses réparations	0,04	
Frais de décrassage		0,05
TOTAL		62,13

II. — FONTE THOMAS A LA SORTIE DU MÉLANGEUR

	Francs.
Fonte de hauts-fourneaux : 840 kilogrammes à 55 francs les 1.000 kilogrammes	46,20
Fonte de cubilot : 166 kilogr. à 62 fr. 13 les 1.000 kilogr.	10,31
Transport : 0 fr. 36 les 1.000 kilogr	0,36
Manœuvre du mélangeur	0,10
Entretien	0,08
TOTAL	57,05

III. — CHAUX D'ACIÉRIE (*Four horizontal*)

Castine : 1.995 kilogrammes à 3 fr. 05 les 1.000 kilogrammes		6,08
Houille spéciale : 218 kilogr. à 23 fr. 50 les 1.000 kilogr.		5,12
Papier de séparation	0,04	0,07
Provisions diverses	0,03	
Main-d'œuvre et surveillance		1,13
Manutentions. — Traction		0,07
Frais de décrassage		0,03
Monte-charges		0,04
Éclairage		0,07
Réparations :		
Briques : 11 kilogr. à 40 francs	0,44	0,58
Terre réfractaire : 2 kilogr. à 12 fr	0,02	
Main-d'œuvre	0,06	
Réparations diverses	0,06	
TOTAL		13,25

IV. — DOLOMIE FRITTÉE

Dolomie crue en vrac : 1.920 kilogrammes à 9 fr. 40 les 1.000 kilogrammes		18,04
Déchargement et cassage : 1.920 kilogr. à 1 fr. 10 les 1.000 kilogr		2,11
Coke : 550 kilogr. à 26 francs les 1.000 kilogr		14,30
Monte-charges. — Bascule		0,12
Réparations : Garnissage	0,52	0,56
— diverses	0,04	
Main-d'œuvre. — Surveillance		2,10
TOTAL		37,23

V. — MORTIER BASIQUE

	MAIGRE — Francs.	GRAS Pr FONDS — Francs.
Dolomie frittée neuve : 990 kilogrammes à 37 fr. 23 les 1.000 kilogrammes		33,50
Dolomie frittée neuve : 500 kilogr. à 37 fr. 23 les 1.000 kilogr	18,62	
Vieilles briques de dolomie : 420 kilogr. à 10 francs les 1.000 kilogr	4,20	
Goudron déshydraté : 100 kilogr. à 58 francs les 1.000 kilogr		5,80
Goudron déshydraté : 80 kilogr. à 58 francs les 1.000 kilogr	4,64	
Broyage, malaxage, meulage (chauffage et force motrice)	5,50	6,00
Main-d'œuvre	1,90	2,25
Entretien et réparations	0,80	1,00
TOTAL	35,66	48,55

VI. — FOND POUR UN CONVERTISSEUR DE 15 TONNES

	Francs.
Mortier basique : 3.500 kilogrammes à 48 fr. 55 les 1.000 kilogrammes	169,90
Damage mécanique :	
Force motrice	5,75
Main-d'œuvre	7,25
Baguettes de bois : 120 à 0 fr. 06	7,20
Houille de cuisson : 600 kilogr. à 18 francs les 1.000 kilogr.	10,80
Moulages de fonte : 105 kilogr. à 180 francs les 1.000 kilogr.	18,90
Entretien, petit outillage	1,10
Entretien des étuves à cuisson	0,85
	221,65
A déduire :	
105 kilogr. boccages et ferrailles à 60 francs les 1.000 kilogrammes	6,30
TOTAL	215,35

VII. — POSE D'UN FOND DANS UN CONVERTISSEUR DE 15 TONNES

		Francs.
Fond étuvé		215,35
Dolomie pour joint : 190 kilogr. à 43 francs les 1.000 kilogr.		8,20
Goudron pour joint : 125 kilogr. à 58 francs les 1.000 kilogr.		7,25
Manœuvre hydraulique du convertisseur		6,80
Manutention du fond		0,35
Chauffage : Coke : 2.450 kilogr. à 26 francs les 1.000 kilogr.		63,70
Vapeur	22,70	25,15
Entretien	2,45	
Outils et provisions diverses		2,30
Main-d'œuvre, démolition et pose		14,60
		343,70
A déduire :		
Dolomie vieille : 420 kilogr. à 10 francs	4,20	14,65
Coke moitié brûlé : 870 kilogr. à 12 francs.	10,45	
TOTAL		329,05

VIII. — GARNISSAGE D'UN CONVERTISSEUR DE 15 TONNES

		Francs.
Briques basiques :		
Mortier maigre : 16^{T},800 à 35 fr. 66	599,10	662,50
Force motrice de la presse	11,60	
Main-d'œuvre et manutention	50,00	
Entretien	1,80	
Mortier maigre pour pisé : 21^{T},600 à 35 fr. 66		770,25
Fond étuvé		215,35
Goudron : 45 kilogr. à 58 francs		2,60
Briques alumineuses : 310 kilogr. à 45 francs		13,95
Bois d'allumage : 0^{mc},9 à 11 francs		9,90
Chauffage :		
Coke : 4.200 kilogr. à 26 francs		109,20
Vapeur	236,00	261,50
Entretien	25,50	
Manœuvre hydraulique du convertisseur		27,20
Manutention du fond		0,35
Outils. — Provisions diverses		12,80
Bois d'échafaudage		2,70
Grosses réparations		14,30
Main-d'œuvre et surveillance		125,00
		2.227,60
A déduire :		
Vieilles briques : 14^{T},800 à 10 francs	148,00	282,40
Coke demi-brûlé : 1.120 kilogr. à 12 francs	134,40	
TOTAL		1.945,20

IX. — RÉPARATIONS FAITES EN MARCHE A UN CONVERTISSEUR DE 15 TONNES

		Francs.
Mortier gras : 760 kilogr. à 48 fr. 55		36,90
Briques alumineuses : 440 kilogr. à 45 francs		19,80
Terre réfractaire : 100 kilogr. à 12 francs		1,20
Bois. — Provisions diverses		4,30
Manœuvre hydraulique du convertisseur		6,40
Main-d'œuvre		11,50
TOTAL		80,10

X. — FER FONDU APRÈS SOUFFLAGE DANS UN CONVERTISSEUR DE 15 TONNES

Fonte Thomas du mélangeur : 1.092 kilogr. à 57 fr. 05		62,30
Boccages, scraps : 19 kilogr. à 60 francs		1,14
Chutes de laminoir : 26 kilogr. à 65 francs		1,69
Chaux d'aciérie : 154 kilogr. à 13 fr. 25		2,04
Soufflage :		
Vapeur	3,43	3,80
Entretien	0,37	
Manutention des poches à fonte		0,22
Manœuvre hydraulique du convertisseur		0,19
Enlèvement de la scorie		0,09
Frais de décrassage et nettoyage		0,08
Outils. — Provisions diverses		0,06
Entretien et réparations du convertisseur (le garnissage dure 131 coulées, avec 4 fonds, pour une production de 1.725^{T})		1,74
Main-d'œuvre et surveillance		0,34
		73,69
A déduire :		
Scorie de déphosphoration : 274 kilogr. à 13 fr. 50		3,70
TOTAL		69,99

XI. — ACIER DOUX DANS LA POCHE DE COULÉE

Fer fondu : 997 kilogrammes à 69 fr. 99		69,79
Ferromanganèse : 5^{kg},55 à 272 francs		1,51
Ferrosilicium : 0^{kg},58 à 131 francs		0,08
Spiegeleisen : 0^{kg},90 à 114 francs		0,10
Chauffage des additions :		
Houille : 1^{kg},5 à 18 francs	0,03	
Entretien du four	0,01	0,06
Main-d'œuvre	0,02	
TOTAL		71,54

XII. — ACIER DUR DANS LA POCHE DE COULÉE

		Francs
Fer fondu : $916^{kg},5$ à 69 fr. 99		64,16
Ferromanganèse : $1^{kg},55$ à 272 francs		0,42
Ferrosilicium : $2^{kg},44$ à 131 francs		0,32
Spiegeleisen : 94 kilogr. à 114 francs	10,91	
Coke : $18^{kg},5$ à 26 francs	0,48	
Frais divers de fusion	0,08	11,48
Entretien du cubilot à spiegel	0,09	
Main-d'œuvre	0,12	
TOTAL		76,38

XIII. — LINGOTS DE 2.600 KILOGRAMMES POUR BLOOMING ACIER DOUX THOMAS

Acier doux liquide : 1.024 kilogrammes à 71 fr. 54		74,69
Entretien des poches à acier :		
Busette. — Quenouille	0,03	
Briques réfractaires : $5^{kg},5$ à 45 francs	0,25	
Terre réfractaire : $0^{kg},9$ à 12 francs	0,01	0,41
Coke de chauffage : $1^{kg},5$ à 26 francs	0,04	
Main-d'œuvre	0,07	
Fournitures. — Réparations diverses	0,01	
Appareil moteur de la poche :		
Puissance motrice	0,21	
Entretien	0,03	0,27
Main-d'œuvre	0,03	
Coquilles :		
Lingotières : $13^{kg},5$ à 165 francs	2,22	
Bases : $2^{kg},2$ à 120 francs	0,26	2,53
Bouchons : $0^{kg},3$ à 150 francs	0,05	
Manutention des trucks porteurs		0,29
Démoulage au stripper		0,16
Aluminium : $0^{kg},025$ à 3 fr. 60 le kilogramme		0,09
Outils. — Fournitures diverses		0,13
Entretien du matériel roulant et du stripper		0,14
Main-d'œuvre et surveillance (coulée et démoulage)		0,29
Eclairage électrique		0,09
Eprouvettes d'essai :		
Forge	0,06	
Machine à essayer	0,05	0,23
Laboratoire	0,12	
TOTAL A REPORTER		79,32

			Francs.
A déduire :	Report........		79,32
Mauvais lingots, bouts et scraps : 22 kilogrammes à 60 francs..................	1 ,32	}	2,31
Boccages. Vieilles lingotières : 13kg,2 à 65 francs..............................	0 ,86		
Bases et bouchons : 2kg,2 à 60 francs.....	0 ,13		
Total....................			77,01

XIV. — ACIER MARTIN DANS LA POCHE DE COULÉE

Fonte n° 1 : 138 kilogr. à 63 fr. 70...........	8 ,79	14,92
Fonte n° 2 : 65 kilogr. à 69 fr. 35............	4 ,51	
Boccages fonte : 27 kilogr. à 60 francs.......	1 ,62	
Lingots acier : 19kg,5 à 60 francs............	1 ,17	3,24
Boccages acier : 34kg,5 à 60 francs...........	2 ,07	
Chutes acier-rails : 132 kilogr. à 68 francs....	8 ,98	30,93
— profilés : 169 kilogr. à 65 francs.	10 ,99	
— tôles : 174 kilogr. à 63 fr.......	10 ,96	
Riblon n° 1 : 93 kilogr. à 58 francs..........	5 ,39	9,79
— n° 2 : 80 kilogr. à 55 francs..........	4 ,40	
Fonte hématite M : 15kg,5 à 93 fr. 50.........	1 ,45	2,16
— N : 7 kilogr. à 101 francs.....	0 ,71	
Spiegel : 8 kilogr. à 114 francs..............	0 ,91	6,18
Ferromanganèse : 6kg,8 à 272 francs.........	1 ,85	
Ferrosilicium : 3kg,2 à 131 francs............	4 ,19	
Aluminium : 0kg,035 à 3 fr. 60 le kilogr.......	0 ,13	
Castine : 55 kilogr. à 3 fr. 05................	0 ,17	0,50
Minerai : 23 kilogr. à 6 fr. 90................	0 ,16	
Spath fluor : 9 kilogr. à 19 fr. 50............	0 ,17	
Houille aux gazogènes : 282 kilogr. à 21 fr. 60.		6,09
Ventilateur. — Eau d'arrosage	0 ,85	0,93
Décrassage.................................	0 ,08	
Monte-charges. — Électricité................	0 ,20	0,44
— Entretien.................	0 ,02	
Machine à charger. — Électricité............	0 ,19	
— Entretien.............	0 ,03	
Réparation du four :		
Dolomie : 32 kilogr. à 44 fr. 50..........	1 ,42	1,66
Magnésie : 4 kilogr. à 122 francs........	0 ,19	
Briques-silice : 1 kilogr. à 55 francs.....	0 ,05	
Entretien (Grosses réparations).........................		1,78
Outils. — Fournitures diverses.........................		0,38
Décrassage..		0,04
Eclairage du four et des parcs.........................		0,13
Entretien du matériel roulant..........................		0,14
Main-d'œuvre. — Surveillance..........................		1,58
Total......................		80,89

XV. — LINGOTS DE 400 A 1.000 KILOGR. POUR TOLERIE
ACIER MARTIN. — COULÉE EN SOURCE

		Francs.
Acier liquide : 1.028 kilogr. à 80 fr. 89		83,08
Entretien des poches à acier :		
Busettes. — Tampons	0,03	
Maçonnerie	0,23	0,34
Chauffage. — Houille	0,08	
Appareil moteur de la poche		0,31
Coquilles : Lingotières : 15kg,5 à 165 francs	2,56	
Plaques de source : 2 kilogr. à 150 francs	0,30	2,89
Moulages divers : 0kg,2 à 150 francs	0,03	
Briques de source : 41 kilogr. à 42 francs	1,72	1,77
Sable réfractaire : 4 kilogr. à 12 francs	0,05	
Préparation des lingotières. — Démoulage :		
Force motrice	0,34	0,38
Entretien	0,04	
Outils. — Fournitures diverses		0,17
Entretien du matériel roulant		0,16
Eclairage électrique		0,15
Main-d'œuvre (coulée et démoulage), surveillance		0,88
Eprouvettes d'essais		0,21
		90,34
A déduire :		
Mauvais lingots, bouts, scraps, queues de source, 25 kilogr. à 60 francs	1,50	
Boccages, vieilles lingotières, 15kg,2 à 65 fr.	0,99	2,61
Plaques, moulages divers, 2 kilogr. à 60 fr.	0,12	
TOTAL		87,73

Les chiffres précédemment indiqués pour les prix de revient de la tonne des lingots doivent être majorés de la répartition des frais généraux attribués au service de l'aciérie ; cette majoration varie de 2 fr. 50 à 7 francs par tonne.

D'ailleurs, les prix qui viennent d'être établis sont loin d'être absolus. Ils sont susceptibles de profondes variations, dépendant surtout du lieu d'exploitation et du coût des matières premières. Il est à remarquer qu'en métallurgie, et en particulier dans la fabrication de l'acier, la main-d'œuvre entre pour une faible part dans l'ensemble des dépenses. Aussi n'y aurait-il pas avantage à chercher à réduire les salaires ; mieux vaut s'attacher des ouvriers stables,

habiles et consciencieux. Ce serait aussi d'un mauvais calcul que de se contenter d'un personnel en nombre insuffisant : la production normale n'est pas atteinte et le travail est moins soigné ; d'ailleurs, l'absence de 2 ou 3 hommes peut suffire à entraver et même à paralyser la marche de toute une aciérie.

L'emploi de matières premières d'excellente qualité se recommande également ; les arrêts, les retards et les pertes qui résultent d'avaries imprévues sont loin d'obtenir une compensation dans les économies qui sembleraient faites par des achats de second choix. Pour le même motif, le plus grand ordre doit régner dans les approvisionnements et les stocks, afin que les matériaux ne subissent pas de dépréciation ; les frais de la main-d'œuvre employée aux nettoyages, au triage du vieux coke, à la récupération des scraps ou des scories utilisables..., sont largement couverts par l'usage opportun de ces résidus comme par leur bonne conservation.

La fabrication et l'administration sont établies sur des faits acquis ; néanmoins, les circonstances locales peuvent suggérer des modifications avantageuses à apporter à l'une comme à l'autre. La moindre économie, le plus léger perfectionnement ne sauraient être négligés, parce qu'on les réalise dans des travaux sans cesse renouvelés et sur des poids considérables. Mais il ne faut pas oublier qu'une aciérie, tout en autorisant une prudente initiative, n'est pas un laboratoire d'études spéculatives ; la métallurgie n'est pas une science absolue : c'est plutôt un *art* qui exige une longue expérience, acquise surtout par une patiente observation ; enfin, si la prospérité de cette grande industrie contribue au bien-être général par les multiples applications de ses divers produits, elle rémunère aussi d'importants capitaux, tout en assurant les salaires de bon nombre d'ouvriers laborieux.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

Propriétés générales des aciers

CHAPITRE II

Étude théorique de la conversion

CHAPITRE III

Fontes de conversion. — Cubilots. — Mélangeurs

CHAPITRE IV

Chaux d'aciérie

CHAPITRE V

Étude pratique de la conversion

CHAPITRE VI

Recarburation. — Coulée en poche

CHAPITRE VII

Établissement des convertisseurs

CHAPITRE VIII

Garnissages basiques

CHAPITRE IX

Garnissages acides

CHAPITRE X

Étude théorique de l'affinage sur sole

CHAPITRE XI

Matières premières employées dans l'affinage sur sole

CHAPITRE XII

Étude pratique de l'affinage sur sole

CHAPITRE XIII

Chauffage des fours Martin

CHAPITRE XIV

Construction des fours Martin

CHAPITRE XV

Entretien des fours Martin

CHAPITRE XVI

Procédés mixtes.

CHAPITRE XVII

Lingots d'acier

CHAPITRE XVIII

Coulée en lingotières

CHAPITRE XIX

Poches et appareils de coulée

CHAPITRE XX

Aciers spéciaux

CHAPITRE XXI

Personnel. — Comptabilité

TABLE DES FIGURES

TABLE DES PLANCHES

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Aciérie Thomas.



Convertisseur en attente.



Convertisseur en construction.

